

DOCKET NO.: 21330 US2PCT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

IN RE APPLICATION OF: Hiroyuki ATARASHI, et al.

SERIAL NO.: NEW U.S. PCT APPLICATION

FILED: HERewith

INTERNATIONAL APPLICATION NO.: PCT/JP00/09313

INTERNATIONAL FILING DATE: December 27, 2000

FOR: PATH SEARCH METHOD, CHANNEL ESTIMATION METHOD AND
COMMUNICATION DEVICE

REQUEST FOR CONSIDERATION OF DOCUMENTS
CITED IN INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Assistant Commissioner for Patents


Washington, D.C. 20231

Sir:

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that applicant(s) request that the Examiner consider the documents cited in the International Search Report according to MPEP §609 and so indicate by a statement in the first Office Action that the information has been considered. When the Form PCT/DO/EO/903 indicates both the search report and copies of the documents are present in the national stage file, there is no requirement for the applicant(s) to submit them (1156 O.G. 91 November 23, 1993).

Respectfully submitted,

OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,
MAIER & NEUSTADT, P.C.



Marvin J. Spivak
Attorney of Record
Registration No. 24,913
Surinder Sachar
Registration No. 34,423



22850

(703) 413-3000
Fax No. (703) 413-2220
(OSMMN 1/97)

PATENT COOPERATION TREATY

PCT

From the INTERNATIONAL BUREAU

NOTIFICATION CONCERNING
SUBMISSION OR TRANSMITTAL
OF PRIORITY DOCUMENT

(PCT Administrative Instructions, Section 411)

To:

ITOH, Tadahiko
Yebisu Garden Place Tower
32nd Floor
20-3, Ebisu 4-chome
Shibuya-ku
Tokyo 150-6032
JAPON



Date of mailing (day/month/year) 12 March 2001 (12.03.01)	
Applicant's or agent's file reference ND00013PCT	IMPORTANT NOTIFICATION
International application No. PCT/JP00/09313	International filing date (day/month/year) 27 December 2000 (27.12.00)
International publication date (day/month/year) Not yet published	Priority date (day/month/year) 28 December 1999 (28.12.99)
Applicant NTT DOCOMO, INC. et al	

1. The applicant is hereby notified of the date of receipt (except where the letters "NR" appear in the right-hand column) by the International Bureau of the priority document(s) relating to the earlier application(s) indicated below. Unless otherwise indicated by an asterisk appearing next to a date of receipt, or by the letters "NR", in the right-hand column, the priority document concerned was submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b).
2. This updates and replaces any previously issued notification concerning submission or transmittal of priority documents.
3. An asterisk(*) appearing next to a date of receipt, in the right-hand column, denotes a priority document submitted or transmitted to the International Bureau but not in compliance with Rule 17.1(a) or (b). In such a case, **the attention of the applicant is directed** to Rule 17.1(c) which provides that no designated Office may disregard the priority claim concerned before giving the applicant an opportunity, upon entry into the national phase, to furnish the priority document within a time limit which is reasonable under the circumstances.
4. The letters "NR" appearing in the right-hand column denote a priority document which was not received by the International Bureau or which the applicant did not request the receiving Office to prepare and transmit to the International Bureau, as provided by Rule 17.1(a) or (b), respectively. In such a case, **the attention of the applicant is directed** to Rule 17.1(c) which provides that no designated Office may disregard the priority claim concerned before giving the applicant an opportunity, upon entry into the national phase, to furnish the priority document within a time limit which is reasonable under the circumstances.

<u>Priority date</u>	<u>Priority application No.</u>	<u>Country or regional Office or PCT receiving Office</u>	<u>Date of receipt of priority document</u>
28 Dec 1999 (28.12.99)	11/375797	JP	23 Febr 2001 (23.02.01)
28 Dec 1999 (28.12.99)	11/375798	JP	23 Febr 2001 (23.02.01)

The International Bureau of WIPO
34, chemin des Colombettes
1211 Geneva 20, Switzerland

Facsimile No. (41-22) 740.14.35

Authorized officer

Magda BOUACHA

Telephone No. (41-22) 338.83.38

E P . U S

P C T

国際調査報告

(法 8 条、法施行規則第 40、41 条)
[P C T 1 8 条、P C T 規則 43、44]

出願人又は代理人 の書類記号 ND 0 0 0 1 3 P C T	今後の手続きについては、国際調査報告の送付通知様式(P C T / I S A / 2 2 0) 及び下記 5 を参照すること。	
国際出願番号 P C T / J P 0 0 / 0 9 3 1 3	国際出願日 (日.月.年) 2 7 . 1 2 . 0 0	優先日 (日.月.年) 2 8 . 1 2 . 9 9
出願人 (氏名又は名称) 株式会社エヌ・ティ・ティ・ドコモ		

国際調査機関が作成したこの国際調査報告を法施行規則第 41 条 (P C T 1 8 条) の規定に従い出願人に送付する。
この写しは国際事務局にも送付される。

この国際調査報告は、全部で 4 ページである。

☐ この調査報告に引用された先行技術文献の写しも添付されている。

1. 国際調査報告の基礎

a. 言語は、下記に示す場合を除くほか、この国際出願がされたものに基づき国際調査を行った。

☐ この国際調査機関に提出された国際出願の翻訳文に基づき国際調査を行った。

b. この国際出願は、ヌクレオチド又はアミノ酸配列を含んでおり、次の配列表に基づき国際調査を行った。

☐ この国際出願に含まれる書面による配列表

☐ この国際出願と共に提出されたフレキシブルディスクによる配列表

☐ 出願後に、この国際調査機関に提出された書面による配列表

☐ 出願後に、この国際調査機関に提出されたフレキシブルディスクによる配列表

☐ 出願後に提出した書面による配列表が出願時における国際出願の開示の範囲を超える事項を含まない旨の陳述書の提出があった。

☐ 書面による配列表に記載した配列とフレキシブルディスクによる配列表に記録した配列が同一である旨の陳述書の提出があった。

2. ☐ 請求の範囲の一部の調査ができない (第 I 欄参照)。

3. ☐ 発明の単一性が欠如している (第 II 欄参照)。

4. 発明の名称は ☒ 出願人が提出したものを承認する。

☐ 次に示すように国際調査機関が作成した。

5. 要約は ☒ 出願人が提出したものを承認する。

☐ 第 III 欄に示されているように、法施行規則第 47 条 (P C T 規則 38.2(b)) の規定により国際調査機関が作成した。出願人は、この国際調査報告の発送の日から 1 カ月以内にこの国際調査機関に意見を提出することができる。

6. 要約書とともに公表される図は、

第 1 図とする。 ☐ 出願人が示したとおりである。

☐ なし

☒ 出願人は図を示さなかった。

☐ 本図は発明の特徴を一層よく表している。

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. cl⁷ H 0 4 J 3 / 0 4

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. cl⁷ H 0 4 J 3 / 0 0 - 3 / 0 6

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926-1996

日本国公開実用新案公報 1971-2001

日本国登録実用新案公報 1994-2001

日本国実用新案登録公報 1996-2001

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

JOIS

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	安部田 貞行他, "下りリンクブロードバンド無線パケット伝送におけるSC/DS-CDMA, MC/DS-CDMA, MC-CDMA方式の特性比較", 電子情報通信学会技術研究報告RCS99-130, 15. 10月. 1999 (15. 10. 99)	6-7, 19-20, 2 2, 24, 26, 30, 3 4-35
Y		8-18, 23, 27-2 9
A		1-5, 21, 25, 31 -33, 36

☒ C欄の続きにも文献が列举されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

0 4 . 0 4 . 0 1

国際調査報告の発送日

17.04.01

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

伏本 正典



5 K

9 3 7 2

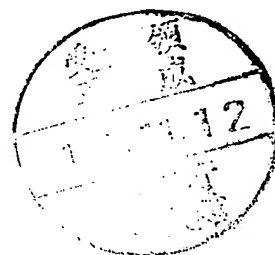
電話番号 03-3581-1101 内線 3556

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	新 博行他, "上りリンクブロードバンド無線パケット伝送におけるS C/DS-CDMA, MC/DS-CDMA, MC-CDMA方式の特性比較", 電子情報通信学会 技術研究報告RCS99-131, 15. 10月. 1999 (15. 10. 99)	6-7, 19-20, 2 2, 24, 26, 30, 3 4-35
Y		8-18, 23, 27-2 9
A		1-5, 21, 25, 31 -33, 36
X	熊谷 智明他, "OFDM無線LANシステム用チャネル等化特性改善法の検 討", 電子情報通信学会通信ソサイエティ大会講演論文集B-5-91, 16. 8月. 99 (16. 08. 99)	6-7, 15, 17, 1 9, 26, 29-30, 3 4-35
Y		8-14, 16, 18, 2 0, 22-24, 27-2 8
A		1-5, 21, 25, 31 -33, 36
Y	東 明洋他, "DS/CDMAにおける内装型同期検波RAKEの特性", 電子情報 通信学会技術研究報告RCS94-98, 28. 10月. 1994 (28. 10. 94)	6-20, 22-24, 2 6-30, 34-35
A		1-5, 21, 25, 31 -33, 36
Y	石井 崇人他, "外挿補間と判定帰還を用いたDS-CDMA用逐次チャネル 推定法", 電子情報通信学会総合大会講演論文集B-5-27, 6. 3月. 97 (0 6. 03. 97)	6-20, 22-24, 2 6-30, 34-35
A		1-5, 21, 25, 31 -33, 36
Y	中村 道春他, "W-CDMA用判定帰還型チャネル推定方式の検討", 電子 情報通信学会通信ソサイエティ大会講演論文集B-5-60, 7. 9月. 98 (0 7. 09. 98)	6-20, 22-24, 2 6-30, 34-35
A		1-5, 21, 25, 31 -33, 36
Y	JP, 10-233713, A (国際電気株式会社) 2. 9月. 1998 (02. 09. 98) 全文, 全図 (ファミリーなし)	6-20, 22-24, 2 6-30, 34-35
A		1-5, 21, 25, 31 -33, 36

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP, 9-8770, A(松下電器産業株式会社)10.1月.1997(10.01.97) 全文, 全図 & US 6175558	6-20, 22-24, 2 6-30, 34-35
A		1-5, 21, 25, 31 -33, 36
Y	JP, 11-68700, A(日本電気株式会社)9.3月.1999(09.03.99) 全文, 全図 (ファミリーなし)	6-20, 22-24, 2 6-30, 34-35
A		1-5, 21, 25, 31 -33, 36.
E, A	JP, 2001-53644, A(富士通株式会社)23.2月.2001(23.02.01) 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-36
E, A	JP, 2000-252867, A(株式会社東芝)14.9月.2000(14.09.00) 全文, 全図 (ファミリーなし)...	1-36

5K

電子情報通信学会技術研究報告



RCS 99-121~140

〔無線通信システム〕

1999年10月15日

下りリンクブロードバンド無線パケット伝送における SC/DS-CDMA, MC/DS-CDMA, MC-CDMA 方式の特性比較

安部田 貞行, 新 博行, 佐和橋 衛, 安達 文幸

NTT 移動通信網株式会社 ワイヤレス研究所
〒239-8536 神奈川県横須賀市光の丘 3-5

◎ あらまし 本稿では、無線伝送帯域が100MHz程度の超広帯域（ブロードバンド）パケット伝送を実現する下りリンクの無線アクセス方式について特性の比較検討を行った。具体的にはシングルキャリア(SC)/DS-CDMA, マルチキャリア(MC)/DS-CDMA, MC-CDMAの3方式について計算機シミュレーションにより受信パケット誤り率(PER)特性の比較を行った。その結果、広帯域伝搬路においてマルチパスの数が多くなるとマルチパス干渉(MPI)の影響が大きくなるため、SC/DS-CDMAで時間領域のRakeダイバーシチを行うよりもMC-CDMAで周波数領域のRakeダイバーシチを行う場合の特性が優れることが分かった。また、MC-CDMAはSCおよびMC/DS-CDMAに比べて1.8倍から3倍のスループットを実現できること、ガードバンドがサブキャリア当たりの送信帯域の1.5倍程度必要な場合にはMC/DS-CDMAのスループットの方がSC/DS-CDMAよりも高くなることを示した。

キーワード ブロードバンドパケット伝送, 下りリンク, DS-CDMA, MC/DS-CDMA, MC-CDMA

Performance comparisons of coherent SC/DS-CDMA, MC/DS-CDMA, MC-CDMA on down-link broadband radio packet transmission

Sadayuki Abeta, Hiroyuki Atarashi, Mamoru Sawahashi, and Fumiyuki Adachi

Wireless Research Laboratories, NTT Mobile Communications Network Inc.
3-5 Hikari-no-oka, Yokosuka-shi, Kanagawa-ken, 239-8536 Japan

◎ Abstract This paper compares the down-link performances of several access schemes such as single-carrier(SC)/DS-CDMA, multicarrier(MC)/DS-CDMA, and MC-CDMA in a land mobile broadband propagation channel for the IMT-2000 phase II. Computer simulation evaluated the packet error rate performance for each access scheme. As a result, frequency Rake diversity in MC-CDMA is more effective than time Rake diversity in SC/DS-CDMA in broadband environment due to a large amount of multipath interference. We also study the throughput defined as the achievable maximum transmission rate to maintain the packet error rate of 10^{-2} considering the guard band for neighboring system and the guard interval of MC-CDMA. The results show that MC-CDMA can achieve 1.8-3 times larger throughput than DS-CDMA and 4 sub-carriers MC/DS-CDMA achieves larger capacity compared with that of SC/DS-CDMA, when the required guard bandwidth is 1.5 times as large as the sub-carrier bandwidth.

key words Broadband packet transmission, Down-link, DS-CDMA, MC/DS-CDMA, MC-CDMA

1. まえがき

次世代移動通信方式IMT-2000における無線アクセス方式として広帯域DS-CDMA(W-CDMA)方式[1],[2]が採用された。IMT-2000における情報伝送速度の要求条件は移動環境、歩行環境、及び準静止環境でそれぞれ144kbps, 384kbps, 及び2Mbpsであり、音声のみでなくインターネットや動画伝送のマルチメディア移動通信の実現が可能となる。しかしながら、有線ネットワークにおける近年のインターネットの急速な普及、今後予想される多様かつ大容量の情報伝送の必要性、加えて次世代インターネットの発展を考慮すると、IMT-2000以降の移動通信システムではより高速の伝送速度、具体的には移動環境では2Mbps、準静止環境では最大10-20Mbpsの伝送速度を実現する必要があると考えられる。更には、様々な伝送速度かつ要求品質を有する情報の伝送、インターネット上で取り扱われるバースト的なデータの送受信といった面を考慮すると、パケットによる移動無線アクセス方式が適している。特に下り回線においては、データベースやWebサイトからの画像、ファイル、ビデオ等のダウンロードによる高速トラヒックが増加すると考えられ、上下非対称パケット通信を実現する移動無線アクセスが必須であると考えられる。ところで、無線通信では、伝送帯域の広帯域化に伴い、マルチパス伝搬路で生じる遅延波の影響が厳しくなる。シングルキャリアを用いたブロードバンドCDMA(B-CDMA or SC/DS-CDMA)では、分離した遅延波を合成することによりRakeバスターシチ効果が期待できるものの、分離された各パスの信号電力が小さくなるためパスサーチ及びチャネル推定精度が劣化し、分解能の向上に応じた改善効果が期待できない。加えて、スペクトルの漏洩に起因する周波数軸上における隣接システムに及ぼす影響を考慮すると、キャリア当たりの伝送帯域に比例した非常に大きなガードバンドが必要となる。これに対して、マルチキャリアCDMA(MC-CDMA)[3]は周波数軸上で拡散を行っており、FFT等で簡単に構成でき、高効率な周波数利用を実現できる。しかしながら、ガードインターバルを超える遅延波が生じるとシンボル間干渉(inter-symbol interference: ISI)及びサブキャリア間干渉(inter-carrier interference: ICI)により特性が急激に劣化する。この遅延波の影響を軽減するためには、1サブキャリア当たりの伝送速度を小さくする、或いはガードインターバルを大きくする必要がある。前者は増幅器における非線形ひずみの影響を大きく受け、後者は伝送効率が低減するといった問題が生じる。前記2方式のハイブリッド方式であるマルチキャリア/DS-CDMA(MC/DS-CDMA)[4]はガードバンドを縮小し、少ないキャリ

ア数で高速伝送を実現することが可能であると考えられる。しかしながら、MC/DS-CDMAでは各パスを完全に分解できないことに起因する電力損失、及びサブキャリア毎にチャネル推定を行う必要が有るといった問題も存在する[5]。

本稿では無線伝送帯域が100MHz程度の超広帯域(ブロードバンド)パケット伝送を実現する下りリンクの無線アクセス方式について特性比較検討を行う。具体的にはSC/DS-, MC-, MC/DS-CDMAの3方式について比較検討を行う。まず2章でそれぞれのアクセス方式について概要を述べた後、3章で3方式についてパケット誤り率(PER)特性を計算機シミュレーションにより評価を行う。さらに、シミュレーションで得られたPER特性を基にガードバンド、ガードインターバルの挿入による劣化を考慮した時のスループットの比較を行う。

2. システムモデル

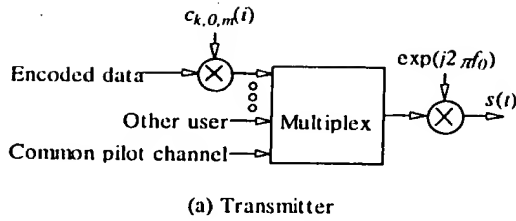
2.1. 送受信機構成

2.1.1 DS-CDMA, MC/DS-CDMA

図1, 2に下りリンクにおけるSC/DS-CDMA及びMC/DS-CDMAの送受信機の構成及びスペクトラムを示す。情報シンボルは、畳み込み符号化が行われた後、QPSK変調され、 N_c 個のシンボルからなる複素シンボル系列へ変換される。この複素シンボル系列は、サブキャリア数 N_s (≥ 1)($N_s=1$ はシングルキャリア)に応じて直並列変換が行われ、それぞれの系列の先頭に N_s/N_c 個のパイロットシンボルが時間多重される。図3にパケットフレーム構成を示す。先頭のパイロットシンボルは全てのユーザに共通の信号を用いる。すなわち、パイロットシンボルの拡散符号(拡散率SF)は全てのユーザに等しく、データシンボルの符号のみがユーザ毎に直交しており、それぞれのサブキャリアで時間軸上で拡散符号の乗積が行われ、 N_c 個のサブキャリアに割り当てられて送信が行われる。ここで、サブキャリア数が1の場合(SC/DS-CDMA)に、QPSK複素シンボル長および拡散信号のチップ長がそれぞれ $T_{s,1}$, $T_{c,1}$ であるとする、サブキャリア数が N_c の場合(MC/DS-CDMA)のQPSK複素シンボル長 T_s および拡散信号のチップ長 T_c は、 $T_s = N_c T_{s,1}$, $T_c = N_c T_{c,1}$ とそれぞれ表わされる。従って、基地局における下りリンクベースバンド送信信号は次のように示される。

$$s(t) = \sum_{k=0}^{K-1} P_k \sum_{i=0}^{(N_d+N_p)/N_c-1} \sum_{n=0}^{SF-1} b_{k,n}(i) c_{k,n,m}(i) \times p_c(t - mT_c - iT_s) \exp[j2\pi(f_0 + n\Delta f)] \quad (1)$$

ここで、 $b_{k,n}(i)$ は k 番目のユーザの n 番目のサブキャリアに割り当てられた i 番目の複素シンボル、



(b) Power spectrum of transmitted signal

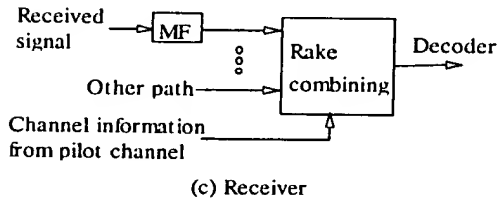
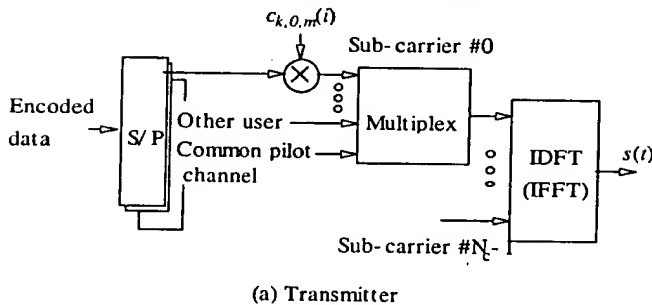


図 1. SC/DS-SS の構成



(b) Power spectrum of transmitted signal

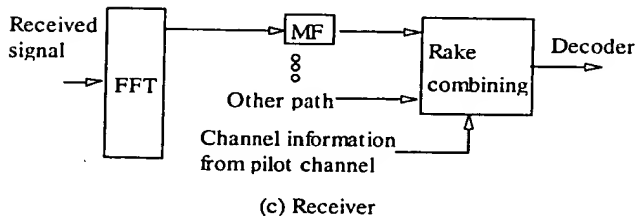


図 2. MC/DS-SS の構成

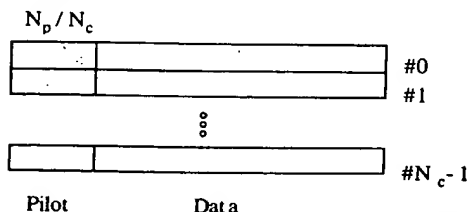
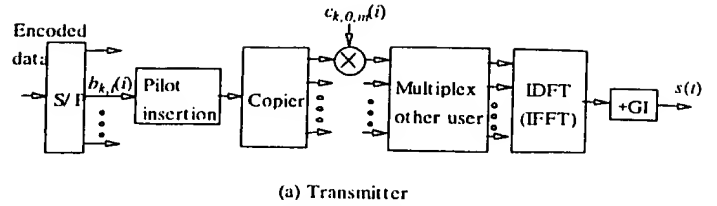


図 3. MC(SC)/DS-SS のパケット構成

$c_{k,n,m}(t)$ はそのシンボルに対応する拡散信号の m 番目のチップ、 $p_c(t) = \{1(0 \leq t \leq T_c), 0(\text{otherwise})\}$ である。さらに、 f_0 は最小の周波数のサブキャリア周波数であり、 $\Delta f (=1/T_c)$ は隣接するサブキャリアの周波



(b) Power spectrum of transmitted signal

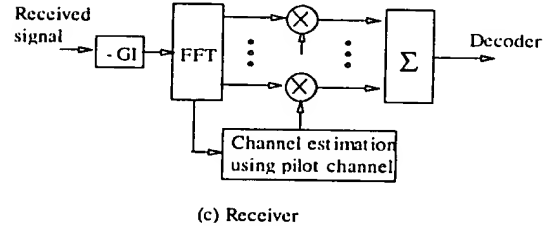


図 4. MC-SS の構成

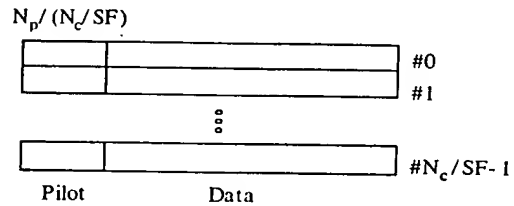


図 5. MC-SS のパケット構成

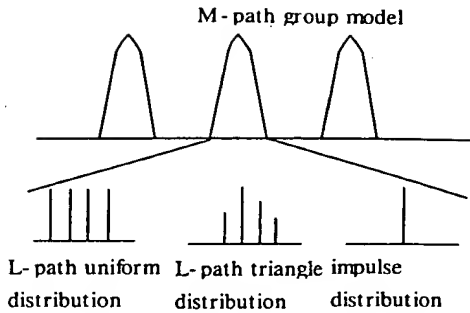
数間隔である。また、 P_k は k 番目のユーザの送信電力であり、 K は同時に通信しているユーザ数を表わしている。

受信側では、ユーザ k のチャネルのインパルス応答を $h_k(t)$ とすると、移動局で受信される受信信号は

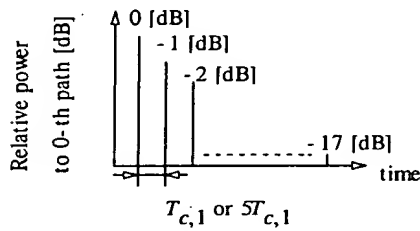
$$r_k(t) = h_k(t) \otimes s(t) + n(t) \quad (2)$$

と表わされる。ここで、 $n(t)$ はガウス雑音成分であり、 \otimes は畳み込み積分を表わす。

受信信号は FFT を用いて、各サブキャリアの成分に分離される。分離された各成分は、サブキャリアごとに逆拡散し、共通パイロットシンボルを同相加算して得られたチャネル推定値を用いて、分離された各パスを Rake 合成する。ここで、パスサーチは、各サブキャリア毎にパイロットシンボルを同相加算して得られた電力遅延プロファイルを電力加算することによって高精度な電力遅延プロファイルを作成し、雑音レベルから設定したしきい値 (雑音レベルの 4 倍) を超えるパスを信号パスとして選択している [6]。Rake 合成された出力は並列変換が行われた後、軟判定ビット復号され、情報シンボルが復元される。



(a) Mパス群Lパスモデル



(b) 指数分布モデル

図6 チャンネルモデル

2.1.2 MC-CDMA

図4にMC-CDMAの送受信機構成及びスペクトラムを示す。MC-CDMAでは符号化及びQPSK変調された複素情報シンボル系列をパラレルに送信するシンボル数(N_c/SF)に応じて直並列変換が行われ、それぞれの系列の先頭に $N_p/(N_c/SF)$ 個のパイロットシンボルが時間多重される。図5にパケットフレーム構成を示す。パイロットシンボルは全てのユーザに共通である。これらの並列複素シンボル系列は、拡散信号(拡散率 SF)を用いてそれぞれのサブキャリアで周波数軸方向に拡散符号の乗積を行い、 N_c 個のサブキャリアに割り当てられて送信が行われる。従って、基地局における下りリンクベースバンド送信信号は次のように示される。

$$s(t) = \sum_{i=0}^{\frac{N_d + N_p}{N_c/SF} - 1} \sum_{k=0}^{K-1} P_k \sum_{l=0}^{N_c/SF - 1} \sum_{m=0}^{SF-1} b_{k,l}(i) c_{k,l,m}(i) \times p_c(t - iT_c) \exp[j2\pi(f_0 + l \cdot SF + m\Delta f)] \quad (3)$$

ここで T_c は直並列変換された後の信号周期であり、 $b_{k,l}(i)$ は k 番目のユーザの直並列変換された l 番目のシンボル系列の情報シンボル、 $c_{k,l,m}(i)$ はそのシンボルに対応する拡散符号の m 番目のチップであり、チップ時間 $T_c = (N_c/SF)T_s$ である。また、ユーザ k の受信信号は式(2)と同様に表わされる。

受信信号はガードインターバルの相関を取ることによってFFTのウィンドウ周期を決定した後

表1 シミュレーション諸元

Chip rate	64Mcps/ N_c
Information bit rate	2Mbps/ user
Sub-carrier(N_c)	1,4,8,16 (MC/DS-CDMA) 512 (MC-CDMA)
Processing gain	32 x 2 x 0.5
Packet length	1024bit ($N_p=64$ pilot)
Modulation	QPSK
Channel coding	Convolutional code($r=1/2, K=7$)
Channel model	see Sec 2.2

[7], FFTを用いて、各サブキャリアの成分に分離される。分離された各成分は、共通パイロットシンボルより得られた各サブキャリアのチャンネル推定値を用いて、等利得(equal gain combining: EGC)合成により周波数方向に拡散されたチップの積分を行う。ここで、サブキャリア毎のチャンネル推定を行う際に隣り合う3個のチャンネル推定値を同相加算することにより雑音に対する特性を改善させた。逆拡散された出力信号は並直列変換が行われた後、軟判定ビタビ復号され、情報シンボルが復元される。

2.2. チャンネルモデル

本検討では、サブキャリア数 N_c の大きさによりチップレート($1/T_c$)が異なるため、受信機でのチャンネルの分解能が異なる。特に無線伝送帯域が100MHz程度の広帯域伝送となると、その影響は顕著となると考えられる。そこで本稿では広帯域化の特性を検討するために、図6(a)に示すチャンネルモデルを用いる。シングルキャリアにおける遅延波の分解能を最小単位とし、 L パスで構成される M 個のパス群を構成した。従って、マルチキャリアを行うことによりチップレートが小さくなったものは M パス観測することになり、キャリア数を小さくし、チップレートが大きくなるほど観測されるパス数が増加し、シングルキャリアでは ML 個のパスが存在していることになる。また、各パスはレイリー分布に従う変動を行い、 L 個のパスの分布は、全てのパスの平均受信電力が等しい一様分布モデル(uniform distribution)、平均受信電力が三角形となる三角分布モデル(triangle distribution)、及び1つのパスに電力が集中している($L=1$)インパルスモデル(impulse distribution)を想定した。なおマルチパスの遅延プロファイルとして、従来一般的に用いられてきた指数分布モデルでの評価も行うものとし、本稿では図6(b)に示される形のものを考慮する。このモデルでは、18個のパスが存在し、

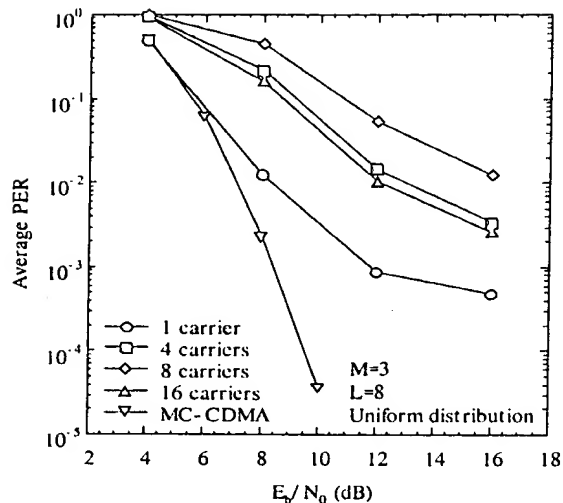


図 7(a) 一様分布モデルにおける特性

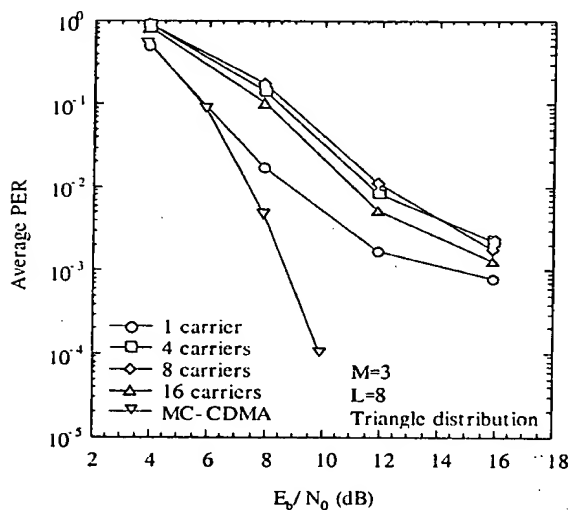


図 7(b) 三角分布モデルにおける特性

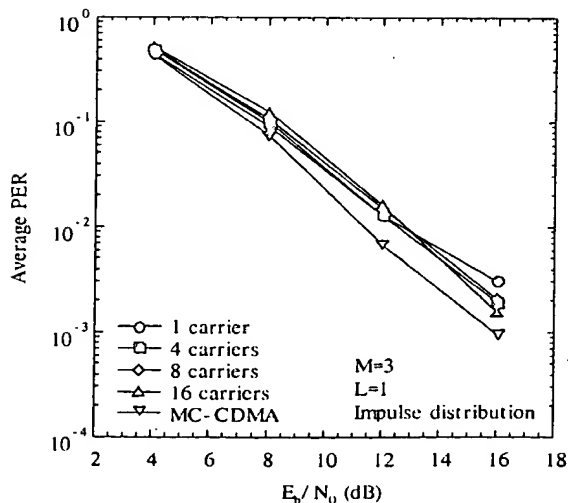


図 7(c) インパルスモデルにおける特性

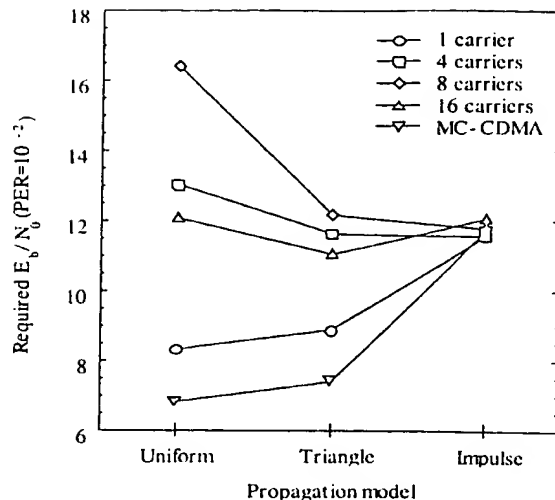


図 8 各モデルにおける所要 E_b/N_0 特性

各パスは 0 番目のパスから順に 1[dB] ずつ減衰し、各パスの間隔は、シングルキャリアのチップ間隔と等しい場合 ($T_{c,1}$) とシングルキャリアのチップ間隔の 5 倍に等しい場合 ($5T_{c,1}$) を考慮する。

3. シミュレーション

DS-CDMA, MC/DS-CDMA および MC-CDMA の下リリンク特性について、計算機シミュレーションで評価した。表 1 にシミュレーション諸元を示す。チャネルモデルは $M=3$, $L=8$ とし一様分布モデル、三角分布モデル、及びインパルスモデルを考慮するものとした。すなわち、最小のチップレート(本検討では 4Mcps)でも最大 3 パス観測でき、シングルキャリア (64Mcps) では 24 パス観測することができる。また、MC/DS-CDMA (シングルキャリアも含む) の Rake フィンガ数は分解能に応じて設定するものとし、 $N_c=1, 4, 8$, 及び 16 に対してそれぞれ 24, 6, 3, 及び 3 とした。さらに、図 6(b) で示す指数分布についてもサブキャリア数に応じたフィンガ数を設定した。MC-CDMA のガードインターバルの挿入損は容量評価において検討するものとし、各特性においては考慮せず、遅延波はガードインターバル内に収まるものとした。

3.1. チャネルモデルに対する特性

図 7 にマルチユーザ伝送における各方式の各チャネルモデルに対するパケット誤り率(packet error rate: PER) 特性を示す。また、図 8 に $PER=10^{-2}$ を満たす所要 E_b/N_0 を示す。ここで、共通パイロットシンボルの送信電力は各ユーザのデータシンボルの 9dB 増とした。はじめに、MC/DS-CDMA (シングルキャリアを含む) のサブキャリア数に対する検討を行う。MC/DS-CDMA の特性は、パスの形状がインパルスの場合 (図 7(c)) はほぼ同じ特性であり、

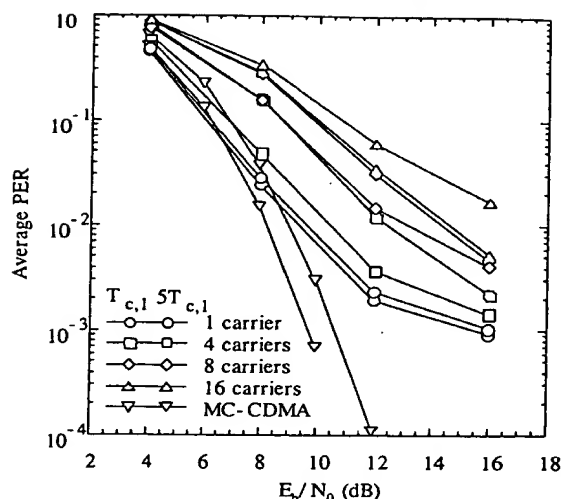


図9 指数分布モデルにおける特性

パス群の各パスが一様に分布 (図7(a)) しているほどサブキャリア数の少ない方式の特性が優れている。これはFFTによって各サブキャリア毎の成分を取り出す際に各パスのエネルギーが1チップ内で分散されているほどFFT積分における電力損及び自信号と他信号からのICIが大きくなるためである。また、フレーム効率を一定としているため、サブキャリア毎のパイロットシンボル数が少なくなり、チャンネル推定及びパスサーチ特性が劣化していることにも起因すると考えられる。本検討では $L=8$ であり、サブキャリア数が16の場合は、FFTのウィンドウ内の一部に電力が集中することになるため、電力損及びICIが8サブキャリアおよび4サブキャリアの場合よりも小さくなる。このため、4サブキャリアの場合に比べて、Rakeパスダイバーシチの効果は小さいがPER特性は良くなっている。次にMC-CDMAとDS-CDMAの比較を行う。DS-CDMAは各パスを時間領域で分解し最大比合成することが可能であるが、パスの数が増えると自信号及び他信号からのマルチパス干渉 (multi-path interference: MPI) の影響が大きくなり、インパルスモデルを除いて特性がフロアをひいている。これに対して、MC-CDMAでは各パスを同相で加算することはできないが、パス数が増えても遅延波がガードインターバル内に収まっていればMPIやICIの影響を受けないので、パス数が増加しても特性がフロアをひいてない。また、独立に変動するパス数の増加により周波数Rakeダイバーシチの効果が大きくなるので、一様分布の特性が最も優れている。

次に指数分布モデルに対する特性を図9に示す。はじめにMC-CDMAとDS-CDMAの比較を行う。指数分布では電力が集中しているためRakeダイバーシチ効果は一様分布に比べて小さく、また、マルチ

パス干渉の影響は軽減されると考えられる。図9より、MC-CDMAの周波数ダイバーシチ効果が小さくなっていることがわかる。特に遅延スプレッドの小さい時は周波数インターリーブの効果も小さくなっているためDS-CDMAに比べて前述のチャンネルモデルほどの特性差は見られず、 E_b/N_0 の低い領域では特性が逆転している。一方、MC/DS-CDMAの遅延スプレッドが小さい場合は、各パスの間隔が小さいのでサブキャリア数がある程度大きいと1つのパスにしか見えなくなる。このため、8サブキャリアと16サブキャリアではほぼ同じ特性になっている。これに対して、1、4及び8サブキャリアの間では特性差が生じている。これはサブキャリア数の増加に伴い、各パスに分散した信号電力を効率的に集めることができない、チャンネル推定の精度が劣化する等の理由に起因する。これに対して、遅延スプレッドの大きいモデルでは各パスの間隔が $5T_{c,1}$ になっているため、4サブキャリアでも効率的に各パスを分離しRake合成が行える。このためシングルキャリアとの特性差は小さい。しかしながら、サブキャリア数が8、16の場合は各パスを効率的に合成することができず、またICIの影響も受けることから特性が大きく劣化している。

3.2. スループット比較

図10に $E_b/N_0=10\text{dB}$ における各方式のユーザ (多重化コード) 数に対するPER特性を示す。ここで、パスモデルとしては $M=3$ 、 $L=8$ の三角分布を用いた。また、共通パイロットシンボルの送信電力は(a) データシンボルの送信電力の3dB増、(b) データシンボルの送信電力の9dB増の2種類について評価した。はじめにMC-CDMAとDS-CDMAの比較を行う。図より共通パイロットの電力に関わらず、多重化するコード数が増えるに連れてDS-CDMAの特性は急激に劣化しているのに対し、MC-CDMAの特性は緩やかに劣化していることが分かる。これはDS-CDMAではパスを分離しているため、多重化コード数の数が増加するに連れてMPIの影響が増加するのに対し、MC-CDMAは1つのパスとして扱っているため、MPIの影響は直交符号の崩れにのみ影響するためである。また、MC-CDMAではキャリア数が多いため、共通パイロット信号の電力が小さい場合はチャンネル推定の劣化の影響を大きく受け、特性が劣化していることが分かる。次にMC/DS-CDMAのキャリア数の影響について検討する。多重化コード数が少ない場合は、チャンネル推定、パスサーチ及びRakeダイバーシチの影響が大きいため、サブキャリア数が少ない場合に比べて多い場合の方が大きく劣化しているが、多重化コード数が増えるとMPIの影響が大きいため特

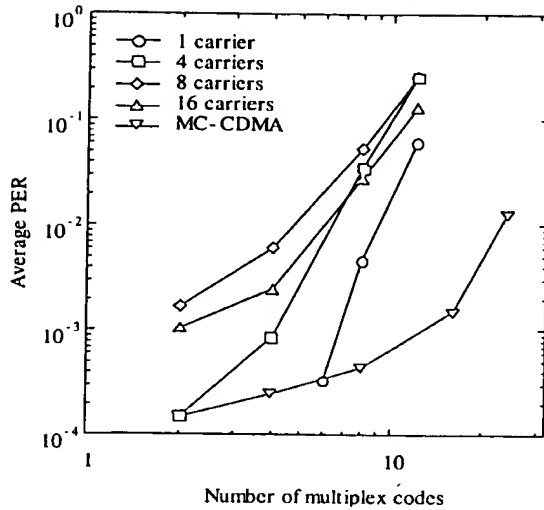


図 10(a) 多重コード数に対する平均 PER 特性
3dB 増パイロットシンボル時

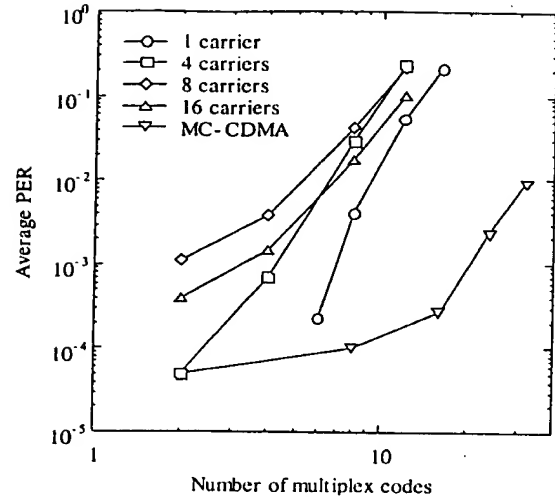


図 10(b) 多重コード数に対する平均 PER 特性
9dB 増パイロットシンボル時

表 2 スループット特性比較

β	MC/DS-CDMA				MC-CDMA	
	$N_c=1$ (Mbps)	$N_c=4$ (Mbps)	$N_c=8$ (Mbps)	$N_c=16$ (Mbps)	$GI=1\mu s$ (Mbps)	$GI=2\mu s$ (Mbps)
1	18.0	12.6	9.6	12.0	38.5	33.0
1.5	12.0	11.2	9.0	11.6	38.5	33.0
2	9.0	10.1	8.5	11.3	38.3	32.9

性差は小さくなっている。

表 2 に共通パイロットシンボルの電力を各ユーザのデータシンボルの 3dB 増とした時の $E_b/N_0=10\text{dB}$ における $\text{PER}=10^{-2}$ を満たすスループット特性を示す。ここで、スループットは本検討で用いた伝送帯域における情報伝送速度(R_b) \times 多重化コード数(K_{max})で定義した。また、ガードバンドは周波数軸上の隣接システムに対するものであり、1サブキャリア当たりの帯域の β 倍必要であると仮定すると、その劣化による影響は $N_c/(\beta+(N_c-1))$ で表わされる。また、MC-CDMA のガードインターバル(GI)は遅延波の影響を受けなくするためのものであり、ガードインターバル挿入による特性の劣化は $T_c/(T_c+GI)$ で表わされる。本検討では $1\mu s$ と $2\mu s$ の場合について評価した。したがって、ガードバンド、ガードインターバルの挿入による劣化を考慮したスループットは次式で与えられる。

$$S = \frac{N_c}{\beta + (N_c - 1)} \times \frac{T_c}{T_c + GI} \times R_b \times K_{\text{max}} \quad (4)$$

表 2 より全ての場合において MC-CDMA の特性が優れているおり、DS-CDMA 系に比べて 1.8 倍から

3 倍のスループットを達成できることが分かる。また、ガードバンドが少なくすむ場合は SC/DS-CDMA の特性が優れているが、サブキャリア当たりの送信帯域の 1.5 倍強必要になってくると MC/DS-CDMA のスループットの方が高くなることが分かる。

4. まとめ

無線伝送帯域が 100MHz 程度の超広帯域(ブロードバンド)パケット伝送を実現する下りリンクの無線アクセス方式について、計算機シミュレーションにより SC/DS-CDMA, MC/DS-CDMA, MC-CDMA の 3 方式に対する受信 PER 特性の比較を行った。その結果、広帯域伝搬路においてマルチパスの数が多くなるとマルチパス干渉の影響が大きくなるため、SC/DS-CDMA で時間領域の Rake ダイバーシチを行うよりも MC-CDMA で周波数領域の Rake ダイバーシチを行う場合の特性が優れることが分かった。また、MC-CDMA は SC および MC/DS-CDMA に比べて 1.8 倍から 3 倍のスループットを実現できること、ガードバンドがサブキャリア当たりの送信帯域の 1.5 倍程度必要な場合には MC/DS-CDMA のスループットの方が SC/

DS-CDMAよりも高くなることを示した。今後、アンプの非線形性の影響、帯域制限フィルタの影響等を考慮に入れて検討していく予定である。

参考文献

- [1] F. Adachi, M. Sawahashi, and H. Suda, "Wideband DS-CDMA for Next-Generation Mobile Communications Systems," IEEE Commun Mag., Vol. 36, pp. 56-69, Sept. 1998.
- [2] D. Dahlman, B. Gudmundson, M. Nilsson, and J. Skold, "UMTS/IMT-2000 Based on Wideband CDMA," IEEE Commun. Mag. Vol.36, pp.70-80, Sept. 1998.
- [3] K. Fazel and L. Papke, "On the performance of convolutional-coded CDMA/OFDM for mobile communication systems," IEEE PIMRC'93, pp.468-472, Yokohama, Japan, Sept. 1993.
- [4] Y. Hanada, S. Abeta, M. Sawahashi, and F. Adachi, "Broadband OFDM/DS-CDMA Packet Transmission in Frequency Selective Fading Channel," IEEE PIMRC'99, pp.911-915 Osaka, Japan, Sept. 1999.
- [5] 安部田, 佐和橋, 安達, "OFDM/DS-CDMAパケット通信におけるパス周波数ダイバーシチ効果," 1999 信学ソ大, B-5-33, p.268, 1999年9月.
- [6] 福元, 安藤, 樋口, 佐和橋, 安達, "W-CDMAにおけるRAKE合成パスサーチの実験的検討," 信学技報RCS98-30, pp.41-48, May 1998.
- [7] 毛利, 岡田, 原, 小牧, 森永, "マルチキャリア信号のシンボル同期・周波数オフセット同時推定方式," 信学技報RCS95-70, pp.9-16, Sept. 1995.

複写される方へ

本誌に掲載された著作物を複写したい方は、(社)日本複写権センターと包括複写許諾契約を締結されている企業の従業員以外は、著作権者から複写権等の行使の委託を受けている次の団体から許諾を受けて下さい。著作物の転載・翻訳のような複写以外の許諾は、直接本会へご連絡下さい。

〒107-0052 東京都港区赤坂 9-6-41 乃木坂ビル 学術著作権協会
TEL: 03-3475-5618 FAX: 03-3475-5619 E-mail: kammori@msh.biglobe.ne.jp

アメリカ合衆国における複写については、次に連絡して下さい。

Copyright Clearance Center, Inc.
222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA
Phone: 978-750-8400 FAX: 978-750-4744 www.copyright.com

Notice about photocopying

In order to photocopy any work from this publication, you or your organization must obtain permission from the following organization which has been delegated for copyright for clearance by the copyright owner of this publication.

Except in the USA

Japan Academic Association for Copyright Clearance (JAACC)
41-6 Akasaka 9-chome, Minato-ku, Tokyo 107-0052 Japan
TEL: +81-3-3475-5618 FAX: +81-3-3475-5619 E-mail: kammori@msh.biglobe.ne.jp

In the USA

Copyright Clearance Center, Inc. (CCC)
222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA
Phone: +1-978-750-8400 FAX: +1-978-750-4744 URL: <http://www.copyright.com>

電子情報通信学会技術研究報告 信学技報 Vol.99 No.357 IEICE Technical Report

1999年10月15日 発行

© 電子情報通信学会 1999

Copyright: © 1999 by the Institute of Electronics, Information and Communication Engineers (IEICE)

発行人 東京都港区芝公園 3 丁目 5 番 8 号 機械振興会館内

社団法人 電子情報通信学会 事務局長 家田 信明

発行所 東京都港区芝公園 3 丁目 5 番 8 号

社団法人 電子情報通信学会 電話 (03) 3433-6691
郵便振替口座 00120-0-35300

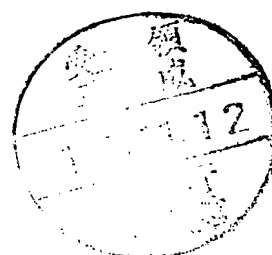
The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers,
Kikai-Shinko-Kaikan Bldg., 5-8, Shibakoen 3 chome, Minato-ku,
TOKYO, 105-0011 JAPAN

本技術研究報告に掲載された論文の著作権は(社)電子情報通信学会に帰属します。

Copyright and reproduction permission: All rights are reserved and no part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopy, recording, or any information storage and retrieval system, without permission in writing from the publisher. Notwithstanding, instructors are permitted to photocopy isolated articles for noncommercial classroom use without fee.

5K

電子情報通信学会技術研究報告



RCS 99-121~140

〔無線通信システム〕

1999年10月15日

上りリンクブロードバンド無線パケット伝送における SC/DS-CDMA, MC/DS-CDMAの特性比較

新 博行, 安部田 貞行, 佐和橋 衛, 安達 文幸

NTT 移動通信網株式会社 ワイヤレス研究所
〒 239-8536 神奈川県横須賀市光の丘 3-5

あ ら ま し

本報告では、無線伝送帯域幅が100MHz程度の超広帯域(ブロードバンド)パケット伝送を実現する、上りリンク無線アクセス方式について、特性比較検討結果を報告する。具体的には、シングルキャリア(SC)/DS-CDMAおよびマルチキャリア(MC)/DS-CDMAについて、サブキャリア数をパラメータとして計算機シミュレーションにより受信パケット誤り率(PER)を定量的に評価する。さらにその結果に基づいて、隣接システムとのガードバンドを考慮した場合のスループットについて、比較検討を行う。その結果、ガードバンドを考慮しない場合には、SC/DS-CDMAがMC/DS-CDMAよりも良好な特性を示すことが分かった。しかしながらサブキャリア当たりの送信帯域に対して2倍のガードバンドが必要になると、平均 $E_b/N_0 = 15[\text{dB}]$ で平均 $\text{PER} = 10^{-2}$ を満たす4サブキャリアのMC/DS-CDMAのスループットが、SC/DS-CDMAのそれに対して約1.3倍となることが分かった。

キーワード ブロードバンドパケット伝送, SC/DS-CDMA, MC/DS-CDMA, 上りリンク, ガードバンド

Performance comparisons of coherent SC/DS-CDMA, MC/DS-CDMA on up-link broadband radio packet transmission

Hiroyuki Atarashi, Sadayuki Abeta, Mamoru Sawahashi, and Fumiyuki Adachi

Wireless Research Laboratories, NTT Mobile Communications Network Inc.
3-5 Hikari-no-oka, Yokosuka-shi, Kanagawa-ken, 239-8536 Japan

Abstract

This paper evaluates the performance comparisons of coherent Single-Carrier (SC)/DS-CDMA and Multi-Carrier (MC)/DS-CDMA schemes on up-link broadband radio packet transmission. The average packet error rate (PER) of each scheme is derived by computer simulation where the number of sub-carriers is used as a parameter. In addition, throughput performance is also evaluated considering the guard band between neighboring systems. When the guard band is not taken into consideration, SC/DS-CDMA shows the best performance. However, when the required guard bandwidth is 2 times as large as the sub-carrier bandwidth, 4 sub-carriers MC/DS-CDMA achieves 1.3 times larger throughput compared with that of SC/DS-CDMA to maintain the average $\text{PER} = 10^{-2}$ with average $E_b/N_0 = 15[\text{dB}]$.

key words broadband packet transmission, SC/DS-CDMA, MC/DS-CDMA, up-link, guard band

1. まえがき

次世代移動通信方式(IMT-2000)[1]の標準化が進展し、その無線アクセス方式として広帯域DS-CDMA(W-CDMA)方式[2],[3]が採用された。ここでIMT-2000のサービスでは、移動環境で144kbps、歩行環境で384kbps、屋内環境で2Mbpsの伝送速度が要求条件として規定されている。しかしながら、現状の有線ネットワークにおけるインターネットサービスの急速な普及、今後予想される多様かつ大容量の情報伝送の必要性、加えて次世代インターネットの発展を考慮すると、IMT-2000以降の移動通信システムでは、より高速の伝送速度、具体的には移動環境で2Mbps程度、準静止環境で10-20Mbpsの伝送速度を実現する必要があると考えられる。さらには、様々な伝送速度かつ要求品質を有する情報の伝送、インターネット上で取り扱われるバースト的なデータの送受信といった面を考慮すると、パケットによるマルチアクセス方式が必須であると考えられる。

そこで本稿ではこのような高伝送速度の移動通信システムを実現する方式として、無線伝送帯域幅が100MHz程度の超広帯域(ブロードバンド)CDMAパケット伝送を考慮するものとし、その上りリンク無線アクセス方式について検討を行う。ブロードバンドのCDMA伝送を実現する場合、シングルキャリア(SC)/DS-CDMA方式を用いれば、高速のチップレートに起因してチャネルの分解能が向上し、分解されるパス数が増える一方で、パス当たりの電力は減少する。したがってRakeパスダイバーシチによる改善効果と、パス検出およびチャネル推定精度の劣化という要因がその性能に関係する。またスペクトルの漏洩に起因する周波数軸上における隣接システムに及ぼす影響を考慮すると、SC/DS-CDMAでは送信帯域に比例した非常に大きなガードバンドが必要となる。これに対し、送信帯域を分割して複数のサブキャリアによりCDMA信号の並列伝送を行うマルチキャリア(MC)/DS-CDMA方式[4,5]では、サブキャリア数を増加させることで、パスダイバーシチを周波数ダイバーシチ効果として取り出すことが可能となる。しかしながら、各パスを完全に分離して合成できないことに起因する電力的な損失、サブキャリアごとにチャネル推定が必要となるといった劣化要因も存在する[6]。このような背景を踏まえ、本稿ではSC/DS-CDMAとMC/DS-CDMAの両方式について、マルチキャリアのサブキャリア数をパラメータとして、上記の点を考慮しながらリンクレベルからの特性比較を行う(サブキャリア数が1の場合がSC/DS-CDMAに相当する)。またガードバンドの挿入による効率の影響も考慮して、SC/DS-CDMAおよびMC/DS-CDMAについて、スループットからの比較も行う。

2. システムモデル

2.1 送受信機構成

本検討で取り扱うSC/DS-CDMAおよびMC/DS-CDMA[5]について送受信機構成を以下に示す。以下の記述では、サブキャリア数 N_c をパラメータとし、 $N_c=1$ の場合をSC/DS-CDMAとして取り扱うものとする。

図1(a)に送信機の構成および図1(b)に送信スペクトラムを示す。パケットにより伝送される情報シンボルは、畳み込み符号化が行われた後、QPSK変調が施され、 N_d 個のシンボルからなる複素シンボル系列へ変換される。複素シンボル系列は、サブキャリア数 N_c (≥ 1)に応じて直並列変換が行われ、それぞれの系列の先頭に N_d/N_c 個のパイロットシンボルが時間多重される。これにより与えられるパケットのフレーム構成を図2に示す。並列複素シンボル系列は、拡散信号(拡散率SF)を用いてそれぞれのサブキャリアで拡散が行われ、ロールオフファクタ α のルートナイキストフィルタにより帯域制限が施された後、 N_c 個のサブキャリアそれぞれに割り当てられて送信が行われる。ここで、サブキャリア数が1(SC/DS-CDMA)の場合に、QPSK複素シンボル長および拡散信号のチップ長がそれぞれ T_s, T_c であるとする、サブキャリア数が N_c の場合のQPSK複素シンボル長 T_s および拡散信号のチップ長 T_c は、 $T_s = N_c T_{s,1}, T_c = N_c T_{c,1}$ とそれぞれ表わされる。これにより、ユーザ k のベースバンド送信信号は次のように示される。

$$s_k(t) = \sum_{i=0}^{(N_d+N_p)/N_c-1} \sum_{n=0}^{N_c-1} \sum_{m=0}^{SF-1} b_{k,n}(i) c_{k,n,m}(i) \times p_c(t - mT_c - iT_s) \exp[j2\pi(f_0 + n\Delta f)] \quad (1)$$

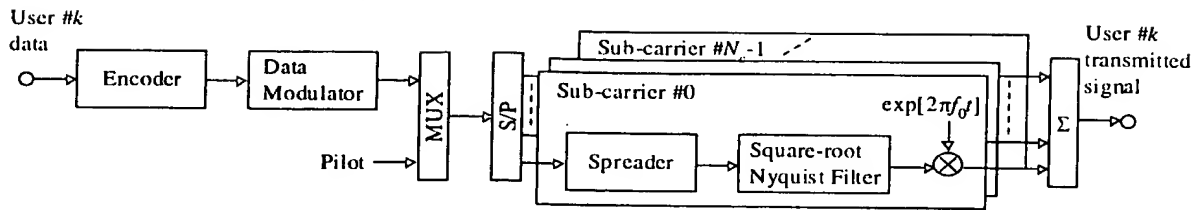
ここで、 $b_{k,n}(i)$ はサブキャリア n に割り当てられた i 番目の複素シンボル、 $c_{k,n,m}(i)$ はそのシンボルに対応する拡散信号の m 番目のチップ、 $p_c(t)$ はルートナイキストフィルタのインパルス応答である。さらに、 f_0 は最小の周波数のサブキャリア周波数であり、 $\Delta f = (1+\alpha)/T_c$ は隣接するサブキャリアの周波数間隔である。

図1(c)に受信機の構成を示す。ユーザ k のチャネルのインパルス応答を $h_k(t)$ とすると、ユーザ数が K の場合の基地局での受信信号は

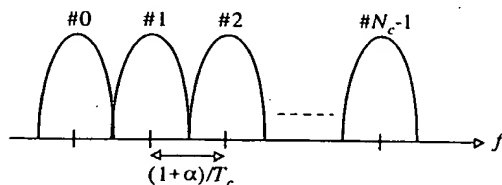
$$r(t) = \sum_{k=0}^{K-1} h_k(t) \otimes s_k(t - \tau_k) + n(t) \quad (2)$$

と表わされる。ここで、 τ_k はユーザ k の信号の遅延量、 $n(t)$ はガウス雑音成分であり、 \otimes は畳み込み積分を表わす。

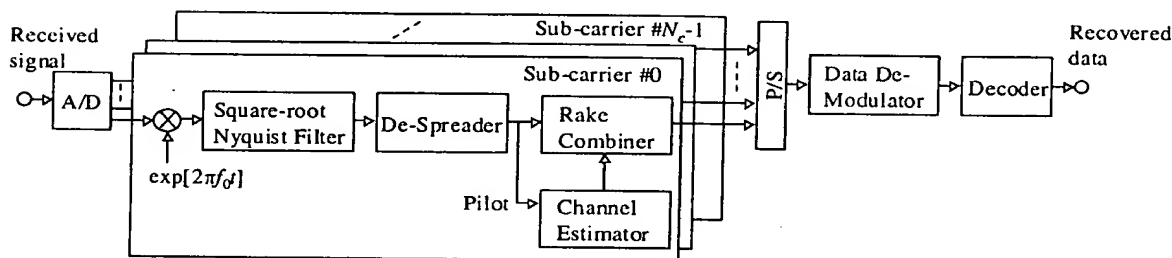
受信信号は、各サブキャリア周波数の乗算を行ってからルートナイキストフィルタを通過させることで、各サブキャリアの成分に分離される。分離された各成分は、サブキャリアごとの逆拡散、パイロットシンボルによるチャネル推定をそれぞれ行って、分解された各パスをRake合成する。ここでチャネル推定値は、サブキャリアごとに多重されたパイロットシンボルを同相加算し



(a) 送信機構成



(b) 送信信号スペクトラム



(c) 受信機構成

図1: MC/DS-CDMAシステムモデル

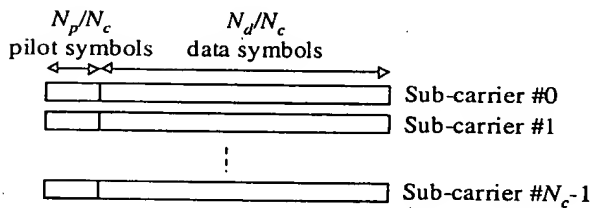


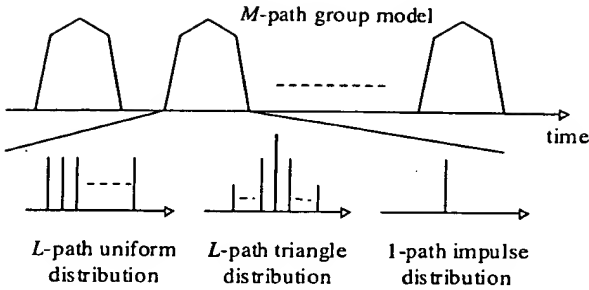
図2: MC/DS-CDMAのパケットフレーム構成

て、サブキャリアごとに求める。また、受信機はパイロットシンボルを用いて各サブキャリアごとに遅延プロファイルを測定し、それらを電力加算することによって得られた遅延プロファイルについて、雑音レベルから設定したしきい値（雑音レベルの4倍）を超えるパスを信号パスとして選択する[7]。Rake合成された出力は並直列変換が行われた後、軟判定ビタビ復号が施され、情報シンボルが復元される。

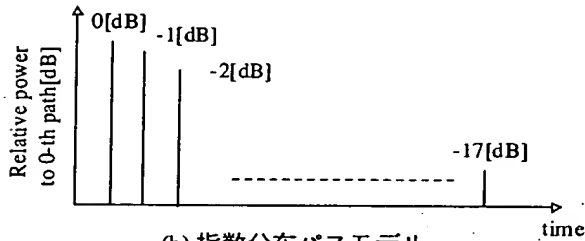
2.2 チャンネルモデル

2.1節で述べたように、サブキャリア数 N_c の大きさによりチップレート $(1/T)$ が異なるため、受信機でのチャンネルの分解能が異なる。特に無線伝送帯域が100MHz程度のブロードバンド伝送となると、その影響は顕著となる。そこで本稿ではブロードバンド化により生じるこのような影響を検討するために、図3(a)に示されるように平均受信

電力が等電力の M 個のパス群内に、SC/DS-CDMAにおけるチャンネルの分解能を最小単位としてマルチパスが存在するようなモデルを用いることにする。まず M 個のパス群は、サブキャリア数によらず最低限分解できるものとし、等間隔に配置される。これらはいわば、数MHz程度の無線伝送帯域幅で観測されていたマルチパスに相当する。そしてサブキャリア数が小さくなる、つまりチップレートが大きくなって分解能が向上した場合に、各パス群内はさらに細かいパスに分解される。パス群内に存在するマルチパス遅延プロファイルとしては、SC/DS-CDMAでの分解能を基準として、平均受信電力が等しい L 個のパスが $T_{c,1}$ の時間間隔で存在する一様分布モデル (Uniform distribution), $T_{c,1}$ の時間間隔で存在する L 個のパスの各平均受信電力の分布が三角形となる三角分布モデル (Triangle distribution), および1つのパスに電力が集中している ($L=1$) インパルスモデル (Impulse distribution) を考慮する。ここで、パス群内の各パスは独立なレイリー分布に従って変動を行う。これら3つのモデルは、パス群内に存在するマルチパス遅延プロファイルの分布が、一様分布モデルで最大に分散、インパルスモデルで逆に最小、三角分布モデルでそれらの中間、となる場合をそれぞれモデル化しており、サブキャリア数 N_c に応じて分解できるパス数は、最小で M 個から最大で ML 個まで変化する。



(a) M パス群, パス群内 L パスモデル



(b) 指数分布パスモデル
図3: チャネルモデル

なおマルチパスの遅延プロファイルとして、従来一般的に用いられてきた指数分布モデルでの評価も行うものとし、本稿では図3(b)に示される形のもの考慮する。このモデルでは、18個のパスが存在し、各パスは0番目のパスから順に1[dB]ずつ減衰し、各パスの間隔は、SC/DS-CDMAのチップ間隔と等しい場合($T_{c,1}$)とSC/DS-CDMAのチップ間隔の5倍に等しい場合($5T_{c,1}$)を考慮する。

3. 計算機シミュレーション結果

SC/DS-CDMA および MC/DS-CDMA の上りリンク特性について比較を行うため、計算機シミュレーションを行った。表1にシミュレーション諸元を示す。チャネルモデルとして、まず図3(a)で示したモデルを考慮するものとし、一様分布モデルおよび三角分布モデルでは $M=3, L=8$ 、インパルスモデルでは $M=3, L=1$ とする。この場合、サブキャリア数が8以上のとき、つまりチップレートが8Mcps以下では最大3パス観測でき、チップレートが64McpsであるSC/DS-CDMAでは最大24パス観測することができる。したがって、Rakeダイバーシチ合成のフィンガ数は、サブキャリア数に応じた分解能により、 $N_c=1, 4, 8$ および16のそれぞれに対して24, 6, 3および3とした。さらに図3(b)で示した指数分布モデルでの評価も行う。また送信電力制御に関しては、距離減衰、シャドウイングに対する補償は理想的に行われているものとし、瞬時変動に対する補償は今回は行っていない。さらに2.1節で示したように、ユーザごとに異なる遅延量 τ_i をランダムに与えるものとし、複数のユーザの信号が非同期に多重化された受信信号に対して、パイロットシンボルを用いて実際にパ

表1: 計算機シミュレーション諸元

Bandwidth	80[MHz]
Information bit rate R_b	2[Mbps/user]
Number of sub-carriers N_c	1, 4, 8, 16
Processing gain	$32 \times 2 \times 0.5$
Packet length	1024[symbols] ($N_d=960, N_p=64$)
Rolloff factor α	0.25
Data modulation/Spreading	QPSK/QPSK
Channel coding/decoding	Convolutional coding ($R=1/2, K=9$)/ Soft decision Viterbi decoding
Channel model	See Section 2.2

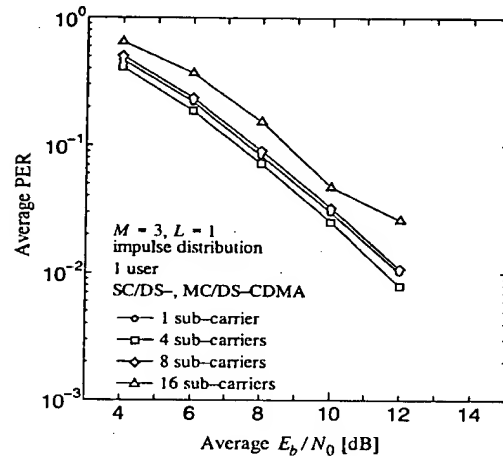


図4: インパルスモデルにおける平均PER特性(1ユーザ)

サーチ, チャネル推定を行い, 特性を評価している。

3.1 チャネルモデルに対する特性

図4, 5, および6にユーザ数が1の場合について、図3(a)で示した各チャネルモデルにおけるSC/DS-CDMA($N_c=1$)およびMC/DS-CDMA($N_c=4, 8, 16$)の平均受信パケット誤り率(Average PER)の比較を示す。

図4に示されるインパルスモデルにおける結果では、サブキャリア数によらず $M=3$ 個のパスを分解してRake合成が可能となるため、ほぼ同じ特性となっていることが確認できる。若干の特性差が生じているのは、1サブキャリアの場合分解できるチャネルのパス数が3であるのに対して、Rake合成のフィンガ数を24に設定しているため、誤った信号パスを選択してしまう可能性があるためと考えられる。また、フレーム効率を一定としてパイロットシンボルを挿入しているため、サブキャリア数の増加とともに1サブキャリア当たりのパイロットシンボル数が減少し、チャネル推定の劣化を招く原因となる。16サブキャリアの場合に関しては、特にこの影響が効いているものと考えられる。

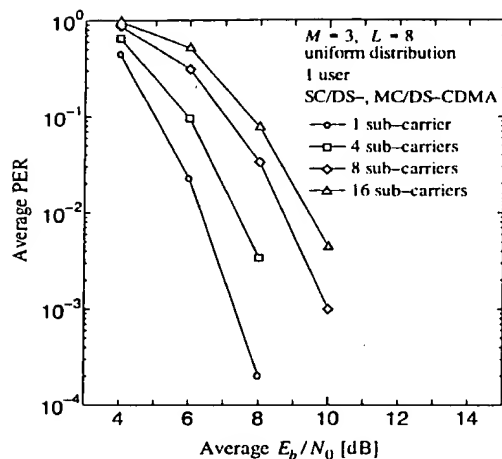


図5: 一様分布モデルにおける平均PER特性(1ユーザ)

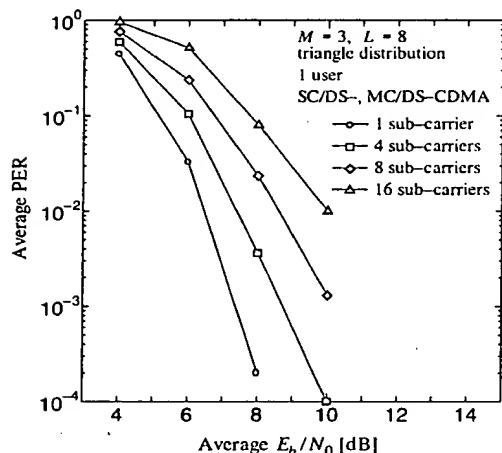


図6: 三角分布モデルにおける平均PER特性(1ユーザ)

一方、図5および6に示される一様分布モデルおよび三角分布モデルにおける結果では、サブキャリア数によりチップレートが異なるため、Rake合成できるパス数がチャンネルの分解能の大きさにより異なる。その結果サブキャリア数に応じてパスダイバーシチによる改善量が異なり、それを補う形でサブキャリア数が増えた場合には周波数ダイバーシチによる改善量が現れることになる。図5および6の結果によると、パスダイバーシチの効果を最大限に利用した、SC/DS-CDMAの特性が最良となっていることが確認できる。これは本検討で仮定したパイロットシンボル数 $N_p = 64$ という条件では、パス当たりの信号電力が小さいSC/DS-CDMAであっても十分なチャンネル推定精度が確保でき、Rake合成パスダイバーシチが有効に働いていることを示している。一方MC/DS-CDMAでは、SC/DS-CDMAに比較して、分解されたパス当たりの信号電力は大きくなるものの、先に述べたサブキャリア当たりのパイロットシンボル数の減少により、図4と比較して非常に多くのマルチパスが存在する環境下では、十分なチャンネル推定精度を確保することができず、その劣化の

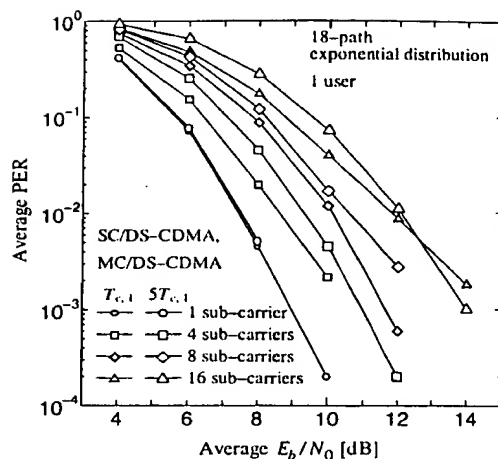


図7: 指数分布モデルにおける平均PER特性(1ユーザ)

影響が顕著になることが原因の一つと考えられる。さらにMC/DS-CDMAでは、遅延波を完全に分離して合成することができないため、各サブキャリアで拡散された受信信号を逆拡散するときに必要な積分操作において、電力的な損失が発生する影響によるものと考えられる。

図7にユーザ数が1の場合に、チャンネルモデルを指数分布モデルとした場合の特性を示す。まずサブキャリア数に対する特性の比較を行ってみると、前述の結果同様サブキャリア数が少ないほど特性が良いことが確認できる。この原因としてはやはり、サブキャリア数が増えるにつれてサブキャリア当たりのパイロットシンボル数が減少し、チャンネル推定精度が劣化する影響が大きいものと考えられる。また各パスの間隔が $T_{c,1}$ の場合と $5T_{c,1}$ の場合とを比較してみると、1サブキャリアのSC/DS-CDMAでは、両者とも1チップ以上の遅延波であるため同様なRake合成が可能となり、ほぼ同じ特性が得られていることが確認できる。一方で4サブキャリア以上のMC/DS-CDMAでは、各パスの間隔が $T_{c,1}$ である方が良好な特性が得られている。この原因としては、 $T_{c,1}$ の方が $5T_{c,1}$ に比較して受信信号電力が時間的に集中しているため、チャンネル推定精度という面で有利となり、このような結果になっているものと考えられる。さらに、図4, 5, および6に示した各チャンネルモデルとの比較を行ってみると、マルチパスのパス数の違いから生じるダイバーシチゲインの違いにより、18パスの指数分布モデルの特性は、3パスのインパルスモデルよりも特性が改善し、24パスの一様分布モデルあるいは三角分布モデルよりも特性は劣化している。ただしパスモデルによらず、SC/DS-CDMAおよびMC/DS-CDMAのサブキャリア数に対する特性はほぼ同様な関係が得られていることが分かる。

次に図8, 9, および10にユーザ数が4の場合について、図3(a)で示した各チャンネルモデルにおけるSC/DS-CDMA ($N_c = 1$) およびMC/DS-

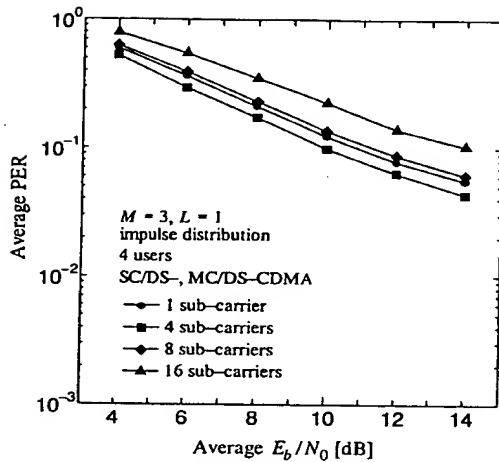
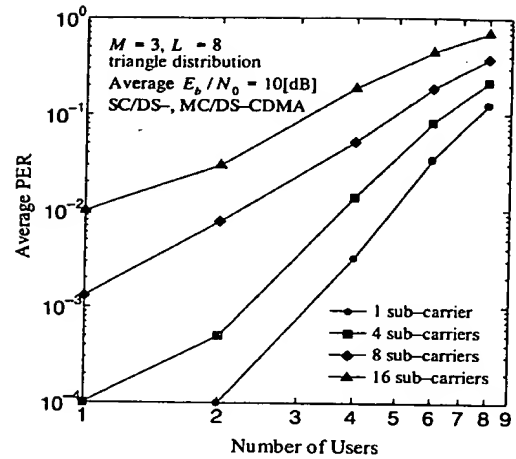


図8: インパルスモデルにおける平均PER特性(4ユーザ)



(a) Average $E_b/N_0=10$ [dB]

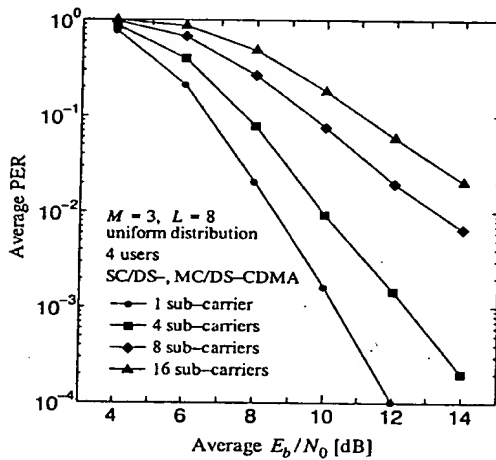
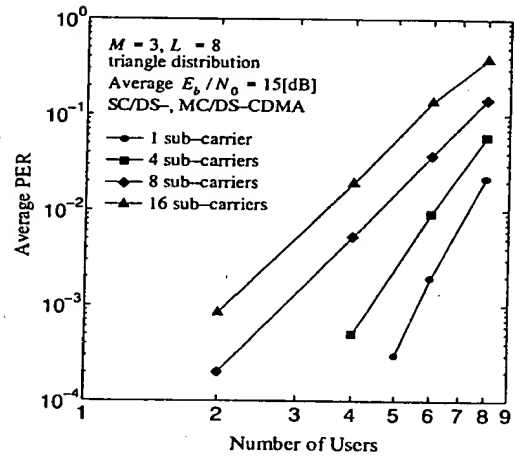


図9: 一様分布モデルにおける平均PER特性(4ユーザ)



(b) Average $E_b/N_0=15$ [dB]

図11: ユーザ数に対する平均PER特性(三角分布モデル)

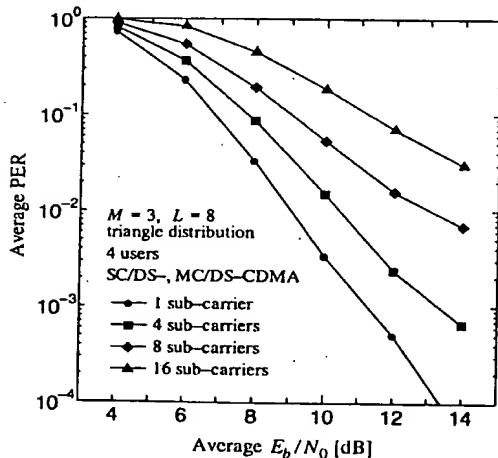


図10: 三角分布モデルにおける平均PER特性(4ユーザ)

CDMA($N_c=4,8,16$)の平均受信パケット誤り率(Average PER)の比較を示す。ユーザ数が4とマルチユーザ環境となっても、図4, 5, および6で示されたシングルユーザ時の特性と、サブキャリア数に対する特性の関係はほぼ同様であることが確認

できる。しかしながら、マルチユーザ干渉の影響が効いてくるため、全体的なパケット誤り率は劣化し、フロアを引く傾向であることが分かる。特に、パス群内に細かいパスが存在する一様分布モデルと三角分布モデルでは、他ユーザの信号のマルチパスからの干渉がさらに加わるため、チャネル推定精度が悪い8サブキャリアおよび16サブキャリアの特性は、より大きな劣化を受けているものと考えられる。

3.2 ガードバンドを考慮したスループットの比較

SC/DS-CDMAとMC/DS-CDMAの特性に関して、スループットからの比較を行うため、平均 $E_b/N_0=10, 15$ [dB] という条件下で、ユーザ数を横軸にした場合の平均受信パケット誤り率(Average PER)特性をそれぞれ図11(a), (b)に示す。チャネルモデルは、2.2節で示した $M=3, L=8$ の三角分布モデルを用いるものとする。先に示された特性より、サブキャリア数が少ないほど平均PER特性が良好と

表2: スループットの比較(三角分布モデル)
(a) Average $E_b/N_0=10$ [dB]

β	$N_c=1$ [Mbps]	$N_c=4$ [Mbps]	$N_c=8$ [Mbps]	$N_c=16$ [Mbps]
1.0	10.00	7.60	4.50	2.00
1.5	6.66	6.76	4.24	1.94
2.0	5.00	6.08	4.00	1.88

(b) Average $E_b/N_0=15$ [dB]

β	$N_c=1$ [Mbps]	$N_c=4$ [Mbps]	$N_c=8$ [Mbps]	$N_c=16$ [Mbps]
1.0	14.68	12.12	9.38	7.12
1.5	9.78	10.78	8.82	6.90
2.0	7.34	9.70	8.34	6.70

なるため、図 11(a), (b)においても $N_c=1$ の場合の特性が最良となっている。

以上の結果は、隣接システムへのスペクトルの漏洩を補償するガードバンド幅を考慮しない場合のものである。そこで、表 2 にガードバンド幅による損失を考慮した場合について、サブキャリア数をパラメータとしたスループットの比較を示す。本検討ではスループットを、ユーザ当たりの情報伝送速度 R_b と平均受信パケット誤り率 (Average PER) 10^{-2} を満たす最大ユーザ数 K_{\max} の積 $R_b \cdot K_{\max}$ と定義する。さらにガードバンドを設けることにより生じる効率の劣化を考慮するため、サブキャリア当たりの送信帯域幅の β 倍のガードバンドが必要であると仮定する。サブキャリア当たりの送信帯域幅を B_{sub} とすると、全体の送信帯域幅はガードバンドを考慮しない場合に $N_c \cdot B_{\text{sub}}$ 、考慮した場合は $\beta \cdot B_{\text{sub}} + (N_c - 1) \cdot B_{\text{sub}} = \{\beta + (N_c - 1)\} B_{\text{sub}}$ とそれぞれ表わされる。したがって本検討ではガードバンドを設けることによる効率の劣化を考慮したスループットを以下の式により求めるものとする。

$$S = \frac{N_c}{\beta + (N_c - 1)} \times R_b \times K_{\max} \quad (3)$$

表 2 より、ガードバンド幅がサブキャリア当たりの送信帯域の 1.5 倍程度以上必要な状況になると、サブキャリア数が 4 の MC/DS-CDMA の特性が最良となることが確認できる。これはサブキャリア当たりの送信帯域に比例してガードバンドの大きさが大きくなるためであり、SC/DS-CDMA がその影響を最も大きく受けるからである。例えば、ガードバンド幅がサブキャリア当たりの送信帯域の 2 倍必要な場合、サブキャリア数 N_c が 1, 4, 8

および 16 となるにつれて、実際に使用できる帯域幅はそれぞれ 50.0%, 80.0%, 88.8% および 94.1% となり、SC/DS-CDMA への影響が大きいことが分かる。

4. まとめ

無線伝送帯域幅が 100MHz 程度のブロードバンド CDMA パケット伝送を実現する方式として、シングルキャリア (SC)/DS-CDMA とマルチキャリア (MC)/DS-CDMA を考慮し、計算機シミュレーションにより定量的な特性比較を行った。評価を行う上でブロードバンドチャネルをモデル化するため、パス数が少ない場合 (インパルスモデル)、およびパスが非常に細かく分解できる場合 (一様分布モデルおよび三角分布モデル) の 3 つのモデルを定義し、さらに一般的なチャネルモデルとして指数分布モデルを取り上げた。計算機シミュレーションの結果、各パスの平均電力が分散しているような多パスの環境下ではサブキャリア数が少ないほど特性が改善し、パスダイバーシチの効果が大きい、つまり SC/DS-CDMA が最良の特性であることが確認できた。しかしながら、現実のシステム設計の上で必要となる隣接システムとのガードバンドを考慮した場合、サブキャリア数が小さくなるとその幅が大きくなり、効率の劣化を招いてしまう。この点も考慮した比較を行うと、SC/DS-CDMA は必要なガードバンド幅が著しく大きくなるため効率の劣化の影響が大きく、サブキャリア数が 4 の MC/DS-CDMA の方が大きなスループットを確保できることが確認できた。

参考文献

- [1] Special issues, IMT-2000: Standards efforts of the ITU, IEEE Personal Commun., Vol.4, Aug. 1997.
- [2] F. Adachi, M. Sawahashi, and H. Suda, "Wideband DS-CDMA for Next Generation Mobile Communication System," IEEE Commun. Mag., Vol.36, pp.56-69, Sep. 1998.
- [3] D. Dahlman, B. Gudmundson, M. Nilsson, and J. Skold, "UMTS/IMT-2000 Based on Wideband CDMA," IEEE Commun. Mag., Vol.36, pp.70-80, Sept. 1998.
- [4] R. Prasad and S. Hara, "An Overview of Multi-Carrier CDMA," Proc. ISSSTA'96, pp.107-114, Sep. 1996.
- [5] Y. Hanada, S. Abeta, M. Sawahashi, and F. Adachi, "Broadband OFDM/DS-CDMA Packet Transmission in Frequency Selective Fading Channel," Proc. PIMRC'99, pp.911-915, Sep. 1999.
- [6] 安部田, 佐和橋, 安達, "OFDM/DS-CDMA パケット通信におけるパース周波数ダイバーシチ効果," 1999 信学ソ大, B-5-33, p.268, 1999 年 9 月.
- [7] 福元, 安藤, 樋口, 佐和橋, 安達, "W-CDMA における RAKE 合成パスサーチの実験的検討," 信学技報 RCS98-30, pp.9-16, 1998 年 5 月.

複写される方へ

本誌に掲載された著作物を複写したい方は、(社)日本複写権センターと包括複写許諾契約を締結されている企業の従業員以外は、著作権者から複写権等の行使の委託を受けている次の団体から許諾を受けて下さい。著作物の転載・翻訳のような複写以外の許諾は、直接本会へご連絡下さい。

〒107-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル 学術著作権協会
TEL: 03-3475-5618 FAX: 03-3475-5619 E-mail: kammori@msh.biglobe.ne.jp

アメリカ合衆国における複写については、次に連絡して下さい。

Copyright Clearance Center, Inc.
222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA
Phone: 978-750-8400 FAX: 978-750-4744 www.copyright.com

Notice about photocopying

In order to photocopy any work from this publication, you or your organization must obtain permission from the following organization which has been delegated for copyright for clearance by the copyright owner of this publication.

Except in the USA

Japan Academic Association for Copyright Clearance (JAACC)
41-6 Akasaka 9-chome, Minato-ku, Tokyo 107-0052 Japan
TEL: +81-3-3475-5618 FAX: +81-3-3475-5619 E-mail: kammori@msh.biglobe.ne.jp

In the USA

Copyright Clearance Center, Inc. (CCC)
222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA
Phone: +1-978-750-8400 FAX: +1-978-750-4744 URL: http://www.copyright.com

電子情報通信学会技術研究報告

信学技報 Vol.99 No.357

1999年10月15日 発行

IEICE Technical Report

© 電子情報通信学会 1999

Copyright: © 1999 by the Institute of Electronics, Information and Communication Engineers (IEICE)

発行人 東京都港区芝公園3丁目5番8号 機械振興会館内

社団法人 電子情報通信学会 事務局長 家田 信明

発行所 東京都港区芝公園3丁目5番8号

社団法人 電子情報通信学会 電話 (03) 3433-6691
郵便振替口座 00120-0-35300

The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers,
Kikai-Shinko-Kaikan Bldg., 5-8, Shibakoen 3 chome, Minato-ku,
TOKYO, 105-0011 JAPAN

本技術研究報告に掲載された論文の著作権は(社)電子情報通信学会に帰属します。

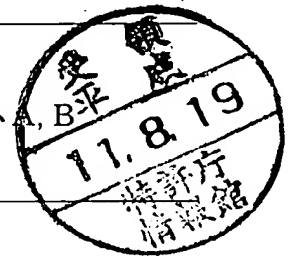
Copyright and reproduction permission: All rights are reserved and no part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopy, recording, or any information storage and retrieval system, without permission in writing from the publisher. Notwithstanding, instructors are permitted to photocopy isolated articles for noncommercial classroom use without fee.

6K
PROCEEDINGS OF THE 1999 COMMUNICATIONS SOCIETY CONFERENCE OF IEICE

IEICE 電子情報通信学会 1999年通信ソサイエティ大会 講演論文集 1

一般講演

- | | |
|--------------------|--------------------|
| B-1. アンテナ・伝播 A, B | B-4. 環境電磁工学 |
| B-2. 宇宙・航行エレクトロニクス | B-5. 無線通信システム A, B |
| B-3. 衛星通信 | |



シンポジウム

- SB-1. アレーアンテナに関する最近の諸技術
- SB-2. 衛星搭載用通信機器と衛星内信号処理技術
- SB-3. 高周波 EMC 計測システム
- SB-4. 無線と光の融合技術
- SB-10. ソフトウェア無線関連技術

ソサイエティ企画

チュートリアル講演 TB-1. ランデブードッキング技術の動向

1999年 9 月 7 日～10日 日本大学 (船橋市)

September 7 ~ 10, 1999, NIHON UNIVERSITY, FUNABASHI

COMMUNICATIONS SOCIETY
THE INSTITUTE OF ELECTRONICS, INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERS

社団法人 電子情報通信学会
通信ソサイエティ

(大会終了までは複写を禁止します。大会終了後は目次の最終ページに記載の方法により複写できます。)

B-5-91

OFDM 無線 LAN システム用チャネル等化特性改善法の検討

An Improved Channel Equalization Scheme for OFDM Wireless LAN Systems

熊谷 智明 鬼沢 武 溝口 匡人 守倉 正博
Tomoaki KUMAGAI Takeshi ONIZAWA Masato MIZOGUCHI Masahiro MORIKURANTT アクセスサービスシステム研究所
NTT Access Network Service Systems Laboratories

1. はじめに

20Mbit/s 以上の伝送速度を有する OFDM 方式を用いた高速無線 LAN システムが盛んに検討されている [1]。このようなシステムではフェージング周波数が極めて低いため、1 パケット内では伝搬環境は殆ど変化しない。従って、パケット先頭部の既知信号の振幅変動および位相回転をサブキャリア毎に検出することにより伝送路 (チャネル) の特性を推定し、等化処理を行うのが一般的である。ところが、熱雑音等の影響によりチャネル特性の推定結果に誤差が生じると、正しく等化処理が行われず誤り率特性が劣化する。本稿では、システムのスループットを低下させることなくチャネル推定誤差に起因する劣化を低減するチャネル等化特性改善法について検討を行った。

2. 従来方式

従来の OFDM 受信機の基本回路構成を図 1 に示す。同図に示すように、FFT 処理後の各サブキャリア信号に対して前述の等化処理を行う。また、位相雑音や残留キャリア周波数誤差等による各サブキャリアの位相回転を補正するため、パイロットサブキャリアの位相回転量を検出し全てのサブキャリアに対し位相トラッキング処理を行う。なお、チャネル推定誤差によって生じる位相誤差はサブキャリア毎に異なる。従って、上記の位相トラッキング処理ではチャネル推定誤差による位相誤差は補正できない。これを解決するため、パケット先頭部のチャネル推定用の既知信号を増やし、受信時にそれらを平均化してチャネル推定精度を向上させる方法や、誤り訂正後の判定値を用いて各サブキャリア信号のレプリカを生成し、パケットのデータ部でもチャネル推定を行い精度を向上させる方法が考えられる。しかし、前者にはオーバーヘッドの増加によるスループット低下の問題があり、後者には処理遅延によるスループット低下や回路規模の増大という問題がある。

3. 提案方式

熱雑音によって生じるチャネル推定値の各サブキャリアの振幅誤差および位相誤差は互いに独立である。そこで、提案方式では振幅誤差の補正はチャネル推定結果の振幅成分を直接補正することにより行い、位相誤差の補正は位相トラッキング後に行う。振幅誤差の検出は、図 2 に示すようにチャネル等化前の振幅値を各サブキャリア毎に積分処理し、シンボル数で除算して平滑化することにより行う。なお、16QAM のように振幅が変動する変調方式であっても十分長い期間積分処理することでその影響を小さくすることができる。また、チャネル推定結果の更新をシンボル毎に行わず、処理したシンボル数が 2^N (N : 自然数) で表される時にのみ行えば上記の除算はビットシフトで実現でき、回路規模の増加を抑えられる。また、位相誤差の検出は、図 3 に示すように位相トラッキング後に硬判定を行い、その情報を用いて位相誤差量の平均値を算出することにより行う。なお、この平均値の算出は前述した積分および除算 (ビットシフト) 処理により実現する。また、信号振幅が大きい信号の方がその位相成分に含まれる熱雑音の影響が小さいため、硬判定の際に原点に近い 4 つの位相点 (16QAM の場合: 図 4 参照) と判定された場合にはその位相情報は使用しない。この判定帰還領域の制限により位相誤差検出精度を向上させることができる。提案方式の適用によってスループットが低下することは無く、回路規模の増量も小さい。

4. シミュレーション結果

提案方式の特性を計算機シミュレーションにより評価した。主要なシミュレーションパラメータを表 1 に示す。なお、同一パケット内ではフェージングによる伝搬特性の変化は無いものとした。シミュレーション結果を図 5 に示す。同図より、AWGN および 18 波レイリーフェージング環境下で所要 E_b/N_0 がそれぞれ約 0.4 dB 改善することがわかる。

5. まとめ

OFDM 無線 LAN システムに適したチャネル等化特性改善法を提案した。計算機シミュレーションの結果、提案方式により所要 E_b/N_0 が約 0.4 dB 改善することを明らかにし、その有効性を示した。

参考文献

[1] IEEE P802.11-98/72-r6, July 1998.

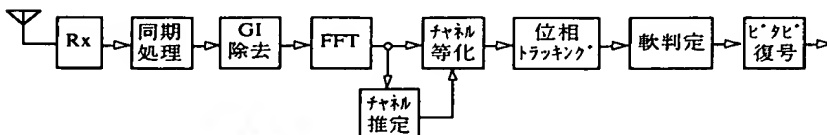


図 1 OFDM 受信機の基本回路構成

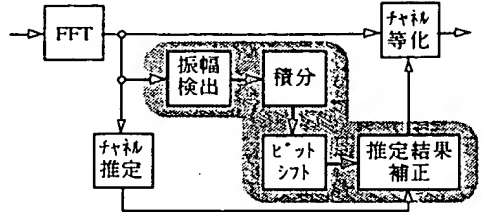


図 2 チャネル推定誤差補正回路 (振幅成分)

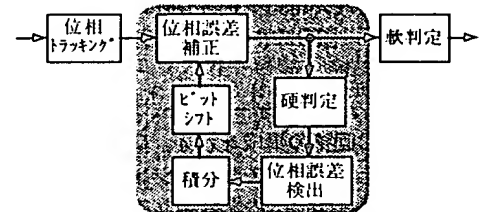


図 3 判定帰還型位相誤差補正回路

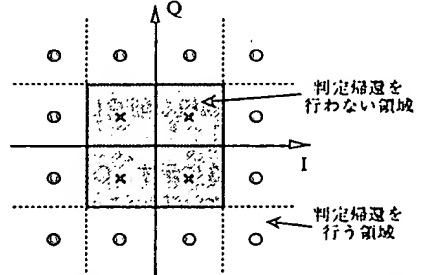


図 4 判定帰還を行う信号位相点 (16QAM の場合)

表 1 シミュレーションパラメータ

変復調方式	16QAM-OFDM - 同期検波
情報伝送速度	24 Mbit/s
FFTサイズ	64
サブキャリア数	52 (うち4つはパイロットサブキャリア)
OFDMシンボル長	4 μsec
ガードインターバル	OFDMシンボル長の20%
FEC	符号化率 1/2, 拘束長 7 畳込み符号 5ビット軟判定ビット復号

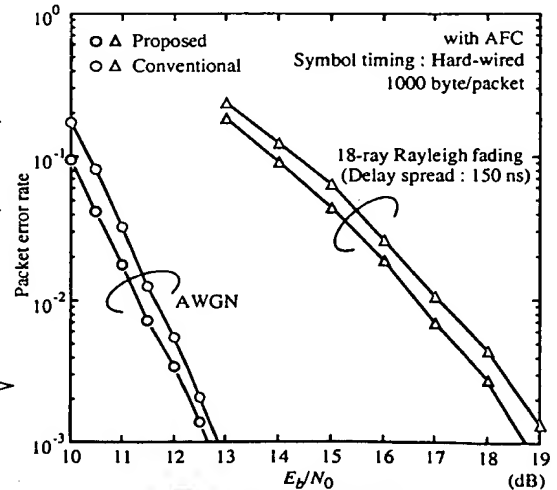
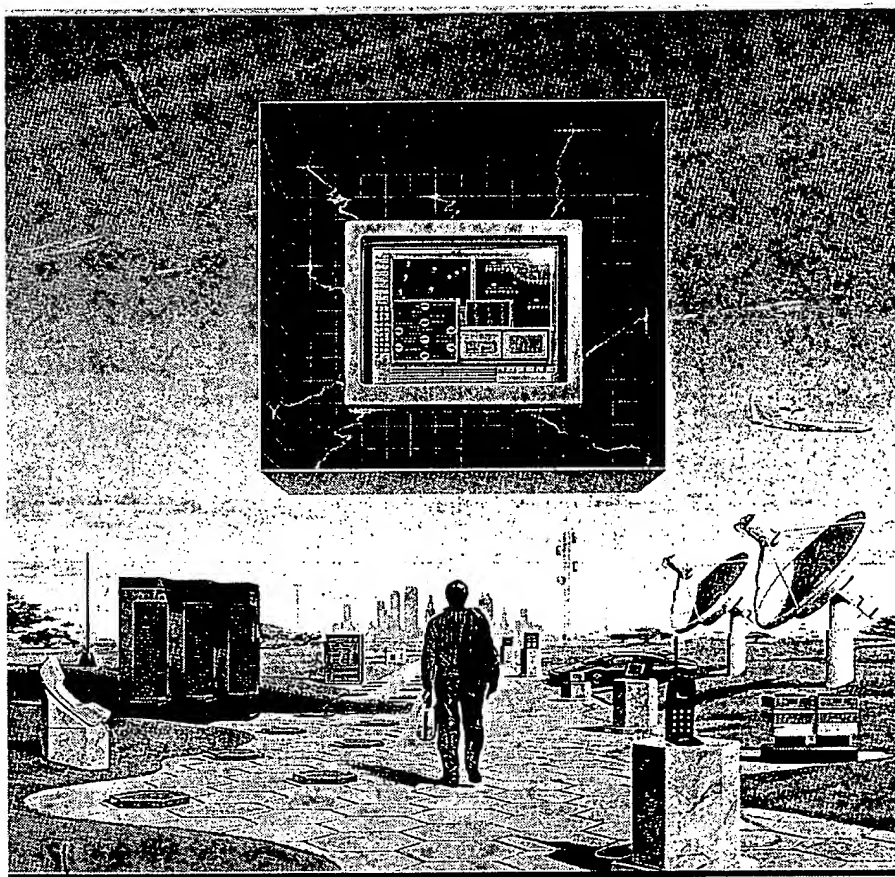


図 5 パケット誤り率特性

高精度ネットワークシミュレーションソフトウェア

プロトコル開発／パフォーマンス解析／キャパシティプランニング等幅広く適用
有線から無線・衛星と幅広いネットワーク性能評価が可能

- 大規模社内ネットワークやインターネット等のネットワークの品質評価
- IGRP, OSPF, RIP等といったルーティングモデル関連のネットワーク評価
- ATM交換機内バッファの最適サイズの割出しといった装置内評価
- カテゴリ (CBR, RT-UBR, RTVBR, ABR, UBR) のモデル提供及び評価QOS
- 移動体—基地局—基幹網等、大規模複合ネットワークの性能評価
- IMT-2000等の無線システムのプロトコルモデル開発及び評価



OPNET

THE FOCUSED TECHNOLOGY IN NETWORK SIMULATION

日本総代理店

株式会社 情報工房

〒103-0007 東京都中央区日本橋浜町3-27-6 日本橋浜町平田ビル
TEL. (03) 5623-7411 FAX. (03) 5623-7414

ホームページURL <http://www.johokobo.co.jp/>

E-mail opnet@johokobo.co.jp

本文中に記載されている製品名は各社の登録商標または商標です。

1999年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会講演論文集1

定価9,200円(本体8,762円・税438円)

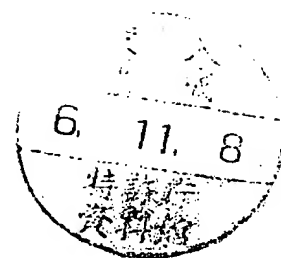
Copyright © 1999 By The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers

電子情報通信学会技術研究報告

R C S 94-89~100

〔無線通信システム〕

1994年10月28日



EiC 社団法人 電子情報通信学会

DS/CDMAにおける内挿型同期検波RAKEの特性

東 明洋 太口 努 大野 公士

NTT移動通信網株式会社

〒238-03 神奈川県横須賀市武1-2356

あらし DS/CDMA 移動無線において、少ないパイロットシンボルでチャネルの伝達関数の推定精度を向上させ、かつ高速フェージングに追従できる判定帰還内挿型同期検波方式を提案する。提案方式は情報シンボルの一部もパイロットとして利用し、伝送効率を下げずに推定精度の向上を図る。これに誤り訂正符号化を組み合わせたときの特性を計算機シミュレーションで評価し、マルチパス環境下でRAKEを行ったときの特性ならびにCDMA容量について検討する。提案方式を用いることにより、従来方式と比較して約0.5dBの所要 E_b/I_0 の改善があり、また誤り訂正符号化を組み合わせることにより、CDMA容量を2倍以上に増加させることができることを示す。

和文キーワード 移動無線, DS/CDMA, 同期検波, 判定帰還, 誤り訂正, ビタビ復号

Performance of Coherent RAKE Detection using Interpolation on DS/CDMA

Akihiro HIGASHI Tsutomu TAGUCHI Koji Ohno

NTT Mobile Communications Network Inc.

1-2356 Take, Yokosuka-shi, Kanagawa-ken, 238-03 Japan

Abstract This paper proposes a coherent detection scheme with decision feedback interpolation using pilot symbols which are embedded periodically in the transmitted symbols. The proposed scheme improves accuracy of estimating the channel transfer function without degrading the transmission efficiency and can track the fast varying fading. Computer simulations are performed to evaluate the performance of RAKE reception and CDMA capacity under multipath environment. This paper shows that the proposed scheme gains 0.5dB as required E_b/I_0 and achieves twice CDMA capacity when it is combined with forward error correction.

英文 key words Mobile Radio, DS/CDMA, Coherent Detection, Decision Feedback, FEC, Viterbi Decoding

1 まえがき

セルラー構成の DS/CDMA 移動通信では、他局からの干渉を雑音と見なす場合、受信機の所要 E_b/I_0 を低くすることができれば加入者容量の増加につながる [1]。デジタル通信における検波方式のうち、同期検波方式は遅延検波方式と比べて優れた静特性を有し、ある平均ビット誤り率 (BER) を得るために必要な E_b/I_0 が最も低い方式である。一方フェージングによる伝送信号の歪みを補償する方式として、内挿型同期検波方式が提案されている [2]。この方式では、送信すべき情報シンボルの中に周期的にパイロットシンボルを挿入してその間を内挿し、チャンネルの伝達関数を推定して検波を行う。パイロットシンボルの挿入周期を小さくすることにより高速フェージングに追従することができるが、伝送効率が低下する。また、パイロット区間に挿入するシンボル数が大きいほど雑音によるチャンネルの伝達関数の推定誤差が小さくなるが、同じ伝送効率の場合フェージングに対する追従性が悪くなる。

本報告では、少ないパイロットシンボルでチャンネルの伝達関数の推定精度を向上させ、かつ高速フェージングに追従できる判定帰還内挿型同期検波方式を提案し、歪み込み符号化/ヴァタビ復号を組み合わせたときの特性を計算機シミュレーションにより明らかにする。また DS/CDMA において、マルチパス環境下で RAKE を行ったときの特性ならびに CDMA 容量について検討する。

2 判定帰還内挿型同期検波方式

2.1 原理

判定帰還内挿型同期検波方式に用いるフレーム構成を図 1 に示す。無線区間へ送信する情

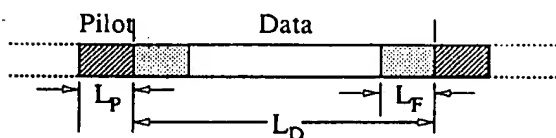


図 1: フレーム構成

報シンボル系列を L_D シンボルごとに区切り、

長さ L_P シンボルの既知のパイロットシンボルを挿入する。このパイロットシンボルでチャンネルの伝達関数を推定する。 L_D ごとに区切られた情報シンボル区間では、その両端のパイロットシンボルで推定された伝達関数を内挿し、それぞれのパイロットから L_F シンボルの仮判定を行う。次に、仮判定したシンボルをパイロットとみなし、 $L_P + L_F$ のパイロットとして伝達関数の推定を行う。これによりパイロットシンボルが増加したものとみることができ、推定精度を向上させることができる。

2.2 パイロットシンボルによる伝達関数推定

パイロットシンボルの長さ L_P が 2 シンボル以上の場合、逐次最小 2 乗法 (RLS) を用いて、その期間のチャンネルの伝達関数を推定する。パイロットシンボルを $u(n)$ ($n = 1, 2, \dots, L_P$)、受信信号を $r(n)$ 、伝達関数の推定値を $\hat{Z}(n)$ とすると、 $\hat{Z}(n)$ は次の正規方程式を解くことにより得られる [3]。

$$\Phi(n)\hat{Z}(n) = \Theta(n) \quad (1)$$

ただし、 $\Phi(n)$ はパイロットシンボルの自己相関、 $\Theta(n)$ はパイロットシンボルと受信信号の相互相関であり、

$$\Phi(n) = \lambda\Phi(n-1) + u(n)u^*(n) \quad (2)$$

$$\Theta(n) = \lambda\Phi(n-1)\hat{Z}(n-1) + u(n)r^*(n) \quad (3)$$

である。(1), (2), (3) 式より、

$$\hat{Z}(n) = \frac{\lambda\Phi(n-1)\hat{Z}(n-1) + u(n)r^*(n)}{\lambda\Phi(n-1) + u(n)u^*(n)} \quad (4)$$

となる。ここで、 λ はシンボルごとに指数的な重みづけを与える忘却係数である。(4) 式をシンボルごとに逐次計算することにより、 $\hat{Z}(n)$ を求める。

2.3 内挿方法

内挿方法としてここでは 1 次のガウスの公式を用いる。 $k, k+1$ 番目のパイロットで得られた伝達関数の推定値をそれぞれ \hat{Z}_k, \hat{Z}_{k+1} とおくと、パイロット間の情報シンボル L_D 中 m シンボル目の伝達関数の推定値 \hat{Z}_{k+m/L_D} は、ガウスの公式を用いると次のようになる [2]。

$$\hat{Z}_{k+m/L_D} = \left\{1 - \frac{m}{L_D}\right\} \hat{Z}_k + \frac{m}{L_D} \hat{Z}_{k+1} \quad (5)$$

2.4 パイロットシンボル数と伝送効率の検討

内挿型同期検波方式では、パイロットシンボルの挿入周期を小さくすれば高速フェージングに追従できるが、そのぶん伝送効率は悪くなる。また、パイロットシンボル L_P が大きいほどチャネルの伝達関数の推定誤差は小さくなるが、同じ効率の場合フェージングに対する追従性が悪くなる。そこで、十分な特性の得られる L_P 及び $L_D/(L_P + L_D)$ について評価した。 $f_D T_b = 0.001$ (f_D : 最大ドップラ周波数 [Hz], $1/T_b$: 情報伝送速度 [kb/s]) で L_P をパラメータにしたときの、平均誤り率 10^{-2} を満たす所要 E_b/I_0 (情報ビットあたりの信号対干渉電力比) 特性を図2に示す。横軸は効率

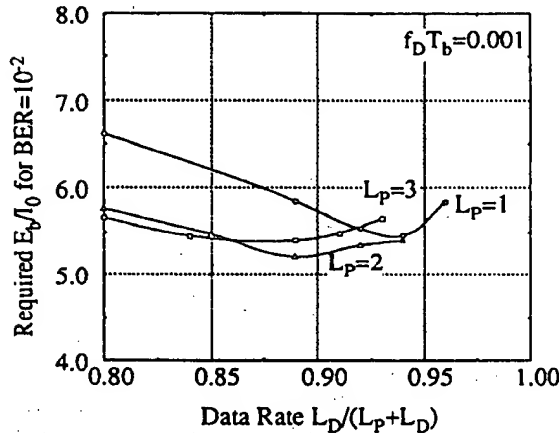


図2: パイロットシンボル数をパラメータにした所要 E_b/I_0 特性

$L_D/(L_P + L_D)$ である。例えば、 $f_D T_b = 0.001$ は情報伝送速度が 40[kb/s] で搬送波周波数が 2[GHz] のとき時速約 20[km/h] に相当する。図2からは、 $0.85 \leq L_D/(L_P + L_D) \leq 0.95$ の領域で $L_P = 2$ が最適であることがわかる。次に、 $L_P = 2$ で $f_D T_b$ をパラメータにしたときの、平均誤り率 10^{-2} を満たす所要 E_b/I_0 特性を図3に示す。 $f_D T_b \geq 0.001$ では、 $L_D/(L_P + L_D) = 0.90$ 近辺で最も特性が良くなる。以降の計算機シミュレーションでは、パイロットシンボル数と効率をそれぞれ $L_P = 2, L_D/(L_P + L_D) = 0.90$ として評価した。

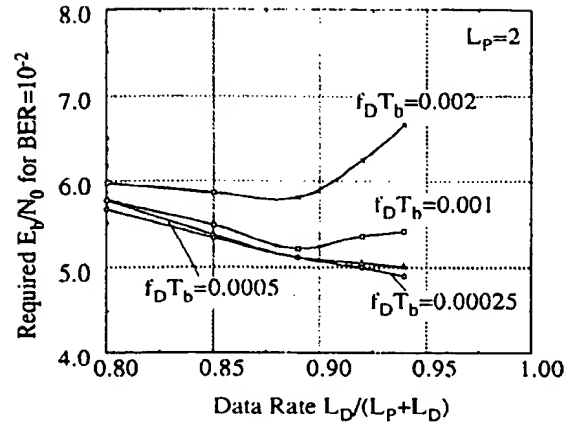


図3: $f_D T_b$ をパラメータにした所要 E_b/I_0 特性

2.5 誤り訂正方式

誤り訂正方式として畳み込み符号化/ヴィタビ復号を用いる。ヴィタビ復号を行う際のトレリス上のパスメトリックの生成方法は以下のとおりである。

内挿型同期検波後の時間 i における複素ベースバンド信号出力 s_i は次のようになる。

$$s_i = \sum_{p=1}^{npath} \hat{z}_{i,p}^* \cdot \tau_{i,p} \quad (6)$$

ここで、 $npath$ はマルチパス環境下で RAKE を行う場合の無線区間のパス数、 $\tau_{i,p}$ はそのうちの p 番目のパスの受信信号、 $\hat{z}_{i,p}^*$ は p 番目のパスにおいて、内挿により推定された情報シンボルの伝達関数の複素共役を表す。この出力と符号語に対応した信号点 x_i (BPSK の場合 ± 1 , QPSK の場合 $\exp\{j(n\pi/2 + \pi/4)\}$, $n = 0, 1, 2, 3$) の内積をこの符号語に対する対数メトリックとし、ヴィタビ復号の際トレリス上で対数メトリックをたし合わせることで対数パスメトリックを生成する。

3 誤り特性

3.1 シミュレーション諸元

図4に、計算機シミュレーションの伝送系のブロック図を示す。また、表1にシミュレーション諸元を示す。送信側では、まず情報系列

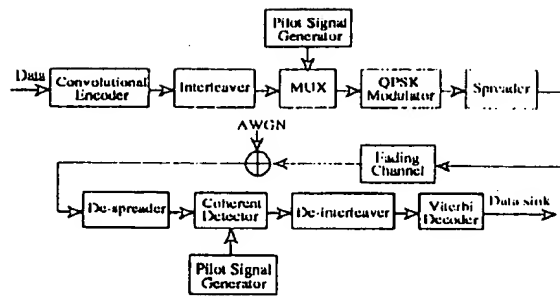


図 4: 伝送系ブロック図

表 1: 計算機シミュレーション諸元

L_P	2 シンボル
$L_D/(L_P + L_D)$	18/20
忘却係数 λ	0.91
1 次変調	QPSK
2 次変調 (拡散)	BPSK
拡散符号	ランダム符号
拡散率 pg	128
符号化復号方式	たたみ込み符号化/軟判定ヴィタビ復号
拘束長 K	7
符号化率 R	1/3, 1/2
インタリーブサイズ	32×36 ($R = 1/3$), 24×30 ($R = 1/2$)
符号生成多項式 ($R = 1/3$)	$G_1(D) = 1 + D^2 + D^3 + D^5 + D^6$ $G_2(D) = 1 + D^1 + D^4 + D^6$ $G_3(D) = 1 + D^1 + D^2 + D^3 + D^4 + D^6$
($R = 1/2$)	$G_1(D) = 1 + D^2 + D^3 + D^5 + D^6$ $G_2(D) = 1 + D^1 + D^2 + D^3 + D^6$

を表 1 に示す符号生成多項式 [4] で畳み込み符号化する。この系列を、受信側でヴィタビ復号を行うときのビット誤りパターンが十分ランダムとなるようにインタリーブする。そして、MUX においてパイロットシンボルを周期的に挿入し、1 次変調 (QPSK)、2 次変調 (ランダム符号による直接拡散) をおこない送信する。このとき、チャネルは 1,2,3 波のレイリーフェージングモデルとし、他局からの干渉は雑音とみなしてガウス雑音 (AWGN) を信号に加えた。受信側では、逆拡散後パイロットシンボルを用いて内挿型同期検波を行う。その検波器出力をディインタリーブした後、ヴィタビ復号器で軟判定による復号を行った。

DS/CDMA での遠近問題を解決するために送信電力制御が行われる。本シミュレーションでは送信電力制御は、レイリーフェージングチ

表 2: $f_D T$ と σ の関係

$f_D T$	σ		
	1 path	2 paths	3 paths
0.00025 以下	1.0	0.3	0.3
0.0005	2.2	0.9	0.6
0.001	3.3	1.7	1.2
0.004	4.0	2.3	1.9
0.01 以上	4.1	2.5	2.0

ヤネルをとる信号を受信側で検波し、RAKE した後の 1 パイロット周期 ($L_P + L_D$ シンボル分の時間) の平均出力が一定となるようにした。実際には、制御遅延や制御ステップがあるために誤差を生じる。この誤差分を考慮するために、受信信号レベルを、目標とするレベルを中心とした対数正規分布でモデル化した [5]。 $f_D T$ (T : シンボル周期) と送信電力制御誤差の標準偏差 σ の関係は、文献 [6] の σ の値とした。表 2 にその関係を示す。

3.2 誤り率特性

図 5 に、判定帰還内挿型同期検波方式 (提案方式) と従来方式の特性を示す。横軸は $f_D T_b$ 、縦軸は平均誤り率 10^{-2} を満たすための所要平均 E_b/I_0 である。提案方式の判定帰還内挿型同期検波方式を用いることにより、従来方式より約 0.5 dB 特性が改善できる。また、 $f_D T_b$ の小さいところでは、提案方式を用いると理論限界 4.2 dB (同期検波の静特性) より 1.3 dB の劣化で伝達関数を推定できる。

図 6 に、提案方式に畳み込み符号化/軟判定ヴィタビ復号を適用した場合としない場合の特性を示す。横軸は平均 E_b/I_0 、縦軸は平均誤り率である。 $f_D T_b$ をパラメータにした。チャネルは 1 波のレイリーフェージングモデルとした。 $f_D T_b$ が小さいとき、平均誤り率 10^{-3} を満たす所要平均 E_b/I_0 を比べると、符号化することにより約 4 dB の符号化利得が得られ、CDMA 容量は倍以上となる。 $f_D T_b = 0.000375$ のとき、符号化を行ったときの静特性に対して約 1.5 dB 劣化しているのは、チャネルの伝達関数の推定誤差と送信電力制御誤差によるものである。

図 7 に、 $f_D T_b$ を変化させたときのヴィタビ復号後の平均誤り率 10^{-3} を満たす所要平均 E_b/I_0 特性を示す。グラフはそれぞれ、1)

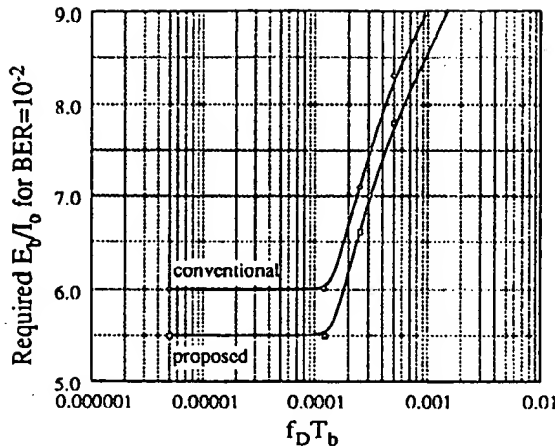


図 5: 内挿型同期検波方式の所要平均 E_b/I_0 特性

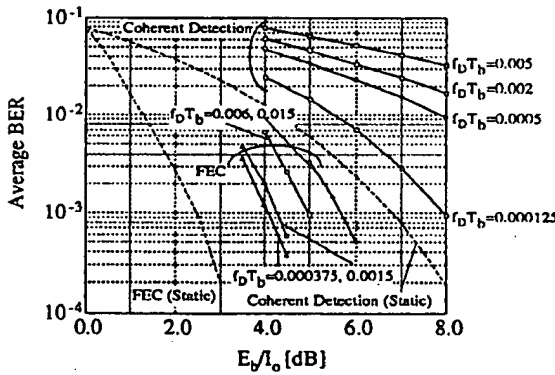


図 6: 内挿型同期検波方式の平均誤り率特性

提案方式 (符号化率 $R = 1/3$)、2) 従来方式 ($R = 1/3$)、3) 提案方式 ($R = 1/2$)、4) 提案方式 (硬判定ヴィタビ復号、 $R = 1/3$) の場合を示す。チャネルは 1 波レイリーフェージングモデルとした。図より、提案方式に誤り訂正を組み合わせた場合従来方式と比べて約 0.5 dB 特性が良くなる。ヴィタビ復号を軟判定で行った場合の硬判定からの利得は、 $f_D T_b$ の増加とともに増える。 $f_D T_b \geq 0.01$ では、硬判定より軟判定のほうが所要平均 E_b/I_0 を 3 dB 以上低く抑えられる。また、符号化率を低くすることにより、符号化利得が増加することがわかる ($f_D T_b \geq 0.01$ で 2 dB 以上)。

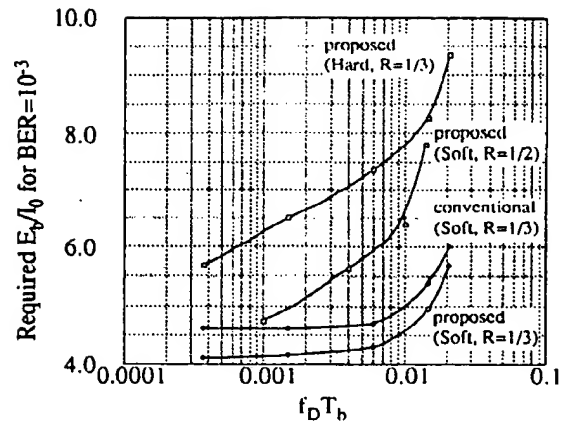


図 7: 誤り訂正後の所要平均 E_b/I_0 特性

3.3 RAKE 特性

DS/CDMA では、拡散・逆拡散の過程でマルチパスを分離することができ、分離されたパスを合成 (RAKE) することでパスダイバーシティが可能となる。そこで RAKE 特性について評価した。図 8 に、パス数をパラメータにして $f_D T_b$ を変化させたときの、ヴィタビ復号後の平均誤り率 10^{-3} を満たす所要平均 E_b/I_0 特性を示す。 $f_D T_b$ が小さいときには、パス数が増えると特性が劣化する。これは 1 パスあたりの平均電力が小さくなり、内挿型同期検波を行う際のチャネルの伝達関数の推定誤差が大きくなるためである。 $f_D T_b \leq 0.01$ の領域では、1 パスに比べて 2 パスによる RAKE を行ったときの特性のほうが良くなる。これは、パスダイバーシティ効果によってフェージングで生じた受信信号レベルの変動が抑圧されているためである。

次に、RAKE を行ったときの CDMA 容量について考察する。送信電力制御が理想的に行われている場合、孤立セルでの CDMA 容量 C と所要平均 E_b/I_0 の関係は次式のようにになる。

$$\frac{\bar{E}_b}{(C-1) \cdot \bar{E}_b / pg} \geq \left(\frac{E_b}{I_0} \right)_{\text{Req}} \quad (7)$$

ここで、送信電力制御が理想的でなく、誤差の標準偏差が σ のとき、他局からの平均干渉電力 (式 (7) の左辺の分母) は $\alpha (= \exp\{(\beta\sigma)^2/2\})$, $\beta = \ln 10/10$ 倍になる [5]。したがって他の劣化要因を考えない場合、CDMA 容量 C と

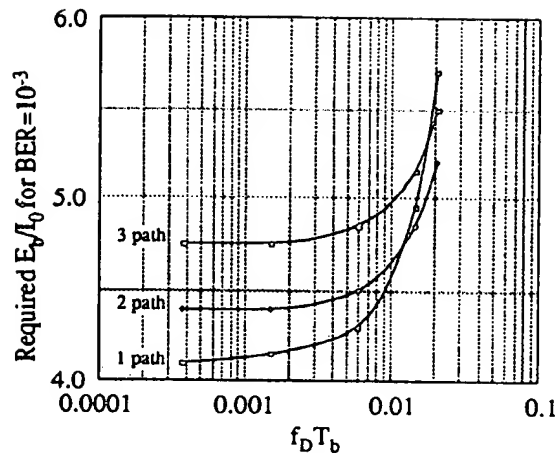


図 8: RAKE を行ったときの所要平均 E_b/I_0 特性

所要平均 E_b/I_0 の関係は次式のようにになる。

$$\frac{\bar{E}_b}{\alpha(C-1) \cdot \bar{E}_b/pg} \geq \left(\frac{E_b}{I_0}\right)_{\text{Req}} \quad (8)$$

式 (8) を満足する C の最大値

$$C_{\max} = pg/\alpha \cdot \left(\frac{E_b}{I_0}\right)_{\text{Req}} \quad (9)$$

と図 8 より求めた各パス数における CDMA 容量を図 9 に示す。 $f_D T_b$ が小さいときは、1パスのほうが他と比べて若干容量が大きくなるが、 $f_D T_b$ が大きくなると、1パスの場合送信電力制御誤差による移動局からの干渉増加により、2, 3パスよりも容量が小さくなる。全般的には、2パスによる RAKE が特性が良い。

4 まとめ

本報告では、干渉白色化 DS/CDMA 移动通信において、チャネルの伝達関数の推定精度を向上させる判定帰還内挿型同期検波方式を提案し、誤り訂正を組み合わせたときの誤り特性について明らかにした。また、マルチパス環境下で RAKE を行ったときの特性ならびに CDMA 容量について検討した。提案方式を用いることで、従来方式と比べて所要平均 E_b/I_0 約 0.5 dB の改善があった。誤り訂正と組み合わせることで大幅な符号化利得が得られることがわかった。

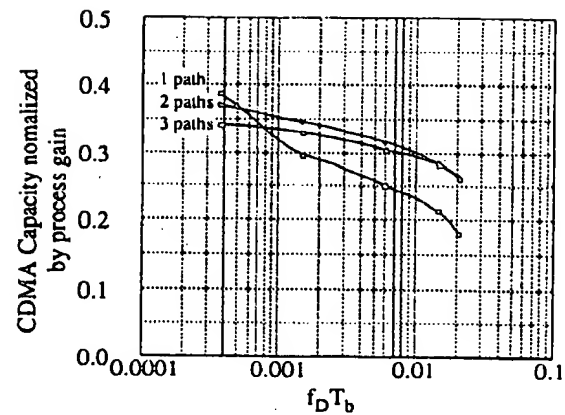


図 9: 孤立セルの CDMA 容量

参考文献

- [1] 安達 文幸, 大野 公士, "セルラー DS/CDMA の容量と所要 E_b/N_0 ", 信学秋季全大 B-298, 1994.
- [2] 三瓶 政一, "陸上移動通信用 16QAM のフェージングひずみ補償方式", 信学論 B-II Vol.J72-B-II No.1 pp.7-15, 1989.
- [3] Simon Haykin, "Adaptive Filter Theory", Prentice-Hall, pp.381-385.
- [4] S. Lin and J. Costello, "Error Control Coding: Fundamentals and Applications.", Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1983.
- [5] A. M. Viterbi and A. J. Viterbi, "Erlang Capacity of a Power Controlled CDMA System", IEEE JSAC., vol.11, No.6, pp.892-900, Aug. 1993.
- [6] 土肥 智弘, 佐和橋 衛, "DS/CDMA における SINR 基準型送信電力制御方式の特性", 信学秋季全大 B-316, 1994.

複写をされる方に

本誌に掲載された著作物は、政令が指定した図書館で行うコピーサービスや、教育機関で教授者が講義に利用する複写をする場合等、著作権法で認められた例外を除き、著作権者に無断で複写すると違法になります。そこで、本著作物を合法的に複写するには、著作権者から複写に関する権利の委託を受けている次の団体と、複写をする人またはその人が所属する企業・団体等との間で、包括的な許諾契約を結ぶようにして下さい。

日本複写権センター 〒107 東京都港区北青山3-3-7 第一青山ビル
Phone 03-3401-2382, 03-3475-5618 Fax 03-3401-2386

Notice about photocopying

In order to photocopy any work from this publication legally, you or your organization needs to obtain permission from the following organization that has been delegated for the copyright clearance by the copyright owner of this publication.

[Japan] Japan Reprographic Rights Center
Daiichi Aoyama Bldg. 3F,
3-3-7, Kita-Aoyama, Minato-ku, Tokyo, 107 Japan
Phone +81-3-3401-2382 Telefax +81-3-3401-2386

[U.S.A.] Copyright Clearance Center, Inc.
222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, USA
Phone (508) 750-8400 Telefax (508) 750-4744

電子情報通信学会技術研究報告

信学技報 Vol.94 No.312
1994年10月28日発行

IEICE Technical Report

©電子情報通信学会 1994

Copyright : © 1994 by the Institute of Electronics, Information and Communication Engineers (IEICE)

発行人 東京都港区芝公園3丁目5番8号 機械振興会館内

社団法人 電子情報通信学会 事務局長 田村 恵一

発行所 東京都港区芝公園3丁目5番8号

社団法人 電子情報通信学会 電話 (03) 3433-6691
郵便振替口座 東京2-35300番

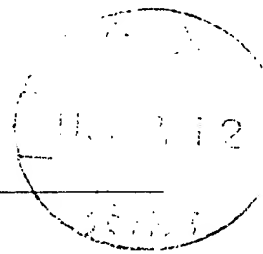
The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers,
Kikai-Shinko-Kaikan Bldg., 5-8, Shibakoen 3 chome, Minato-ku,
TOKYO, 105 JAPAN

本技術研究報告に掲載された論文の著作権は(社)電子情報通信学会に帰属します。

Copyright and reproduction permission: All rights are reserved and no part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopy, recording, or any information storage and retrieval system, without permission in writing from the publisher. Notwithstanding, instructors are permitted to photocopy isolated articles for noncommercial classroom use without fee.

IEICE 電子情報通信学会 1997年総合大会講演論文集

通 信 1



一般講演

- | | |
|--------------------|--------------------|
| B-1. アンテナ・伝播 A, B | B-4. 環境電磁工学 |
| B-2. 宇宙・航行エレクトロニクス | B-5. 無線通信システム A, B |
| B-3. 衛星通信 | |

シンポジウム

- SB-1. 高速デジタル移動通信におけるアンテナ・伝搬の諸技術
SB-3. 資源としての衛星通信用周波数・軌道位置に関する課題
SB-4. 電子機器・システム内の EMC/EMI 問題
SB-5. マイクロ波・ミリ波帯を用いた高速移動通信

ソサイエティ企画

- チュートリアル講演 TB-1. アンテナに適した数値解析手法と比較
チュートリアル講演 TAB-1. 高度道路交通システム(ITS)を支える技術と今後の展開

1997年 3 月24日～27日 関西大学 吹田市

March 24～27, 1997, KANSAI UNIVERSITY, SUITA

THE INSTITUTE OF ELECTRONICS, INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERS

社団法人 電子情報通信学会

(大会終了までは複写を禁止します。大会終了後は目次の最終ページに記載の方法により複写できます。)

外挿補間と判定帰還を用いた DS-CDMA 用逐次チャネル推定法

B-5-27 Repeatedly Updated Channel Estimation for DS-CDMA with D.F. and Extrapolation

石井 崇人

阿部 達也

安部 俊二

占部 健三

Takahito ISHII

Tatsuya ABE

Shunji ABE

Kenzo URABE

国際電気株式会社 仙台研究所

Sendai Laboratory, Kokusai Electric co., Ltd.

1. まえがき

パイロットシンボルを情報シンボル系列中に周期的に挿入し、そのパイロットシンボルを用いてチャネルを推定し、内挿により符号判定する内挿型チャネル推定方式が提案されている⁽¹⁾。しかし内挿型のチャネル推定では、次パイロットを受信するまで情報シンボルを蓄積しておくメモリ等が必要であり、最低でもパイロット周期 T_P の処理遅延が避けられなかった。

本報告では、チャネル推定にパイロットシンボルと判定帰還した情報データを用い、逐次チャネル推定値を更新し、外挿によりチャネル補償を行い符号判定することで、処理遅延の無かつ回路規模の小さい絶対同期検波を行う方式を提案し、DS-CDMA システムに適用した場合の室内実験結果について報告する。

2. 判定帰還逐次チャネル推定部構成

図 1 にフレーム構成を示す。情報シンボル 36 シンボル毎に 4 シンボル連続でパイロットシンボル (=パイロットブロック) を挿入する構成とした。

図 2 に提案する判定帰還逐次チャネル推定部の構成を示す。提案するチャネル推定では、まずパイロットブロックを用いてチャネル推定を行い、その平均値をチャネル推定の初期値としてデータブロックの先頭シンボルの外挿補償を行う。補償されたシンボルは他フィンガと最大比合成された後判定される。判定データを再変調し、受信シンボルとの複素共役乗算によりチャネル変動量を求め、現在のチャネル推定値との重み付け平均を行いチャネル推定値を更新し、次シンボルのチャネル推定値とする。このように逐次的に判定データを帰還しながらチャネル推定値を求め、外挿補償を行う。判定誤りの伝搬によるチャネル推定劣化を抑えるため、チャネル推定値はパイロット周期毎に、パイロットブロックを用いたチャネル推定の平均値に初期化する方法とした。

3. 実験結果

本室内実験装置の仕様は、1 次変調 QPSK、拡散変調 BPSK、拡散率 128、拡散符号には $2^{31}-1$ 周期の M 系列を用いている。情報レートは 64 k symbol/s である。パワーコントロールは行っていない。

図 3 に、内挿方式と提案方式の比較を示す。静特性、フェージング特性ともに 1 バスで、フェージング特性はパイロットブロック周期で規格化した最大ドップラー周波数 $f_D T = 0.025$ とした。静特性環境下では、内挿方式に対して提案方式の劣化は見られない。フェージング環境下では、指数重み付け係数 α が大きいときフェージングへの追従性が内挿方式よりも悪く劣化が見られるものの、 E_b/N_0 の悪いところでは、内挿方式に対する劣化は、0.5dB 程度であり、良好な特性を示している。

4. まとめ

パイロットブロックと判定帰還した情報データを用いてチャネル推定を行い、逐次外挿によりチャネル補償を行い符号判定を行うことで、処理遅延がなく回路規模の小さい絶対同期検波方式を提案した。また、室内実験でその特性が良好であることを示した。

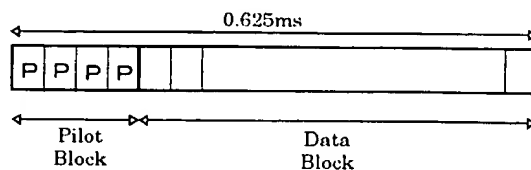


図 1 フレーム構成

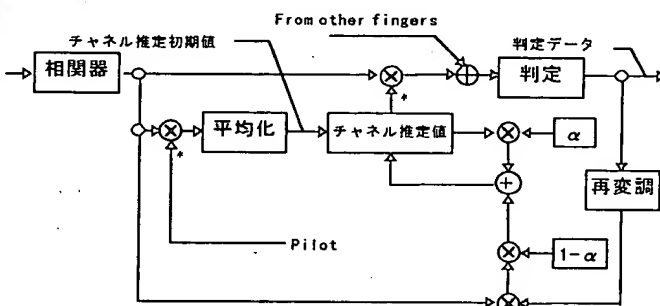


図 2 判定帰還逐次チャネル推定ブロック図

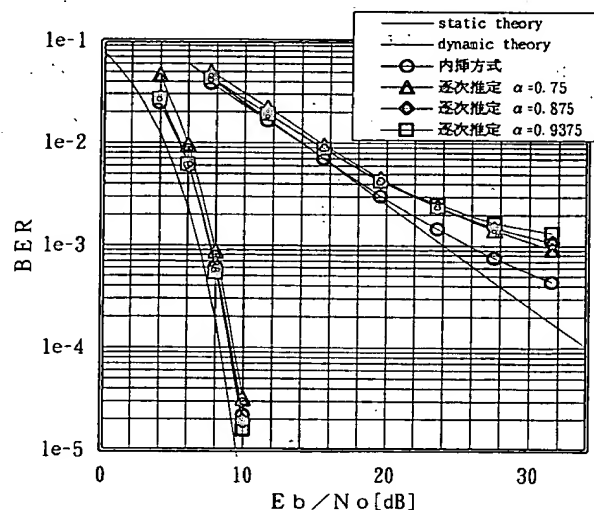


図 3 内挿方式と提案方式の BER 特性比較

【参考文献】

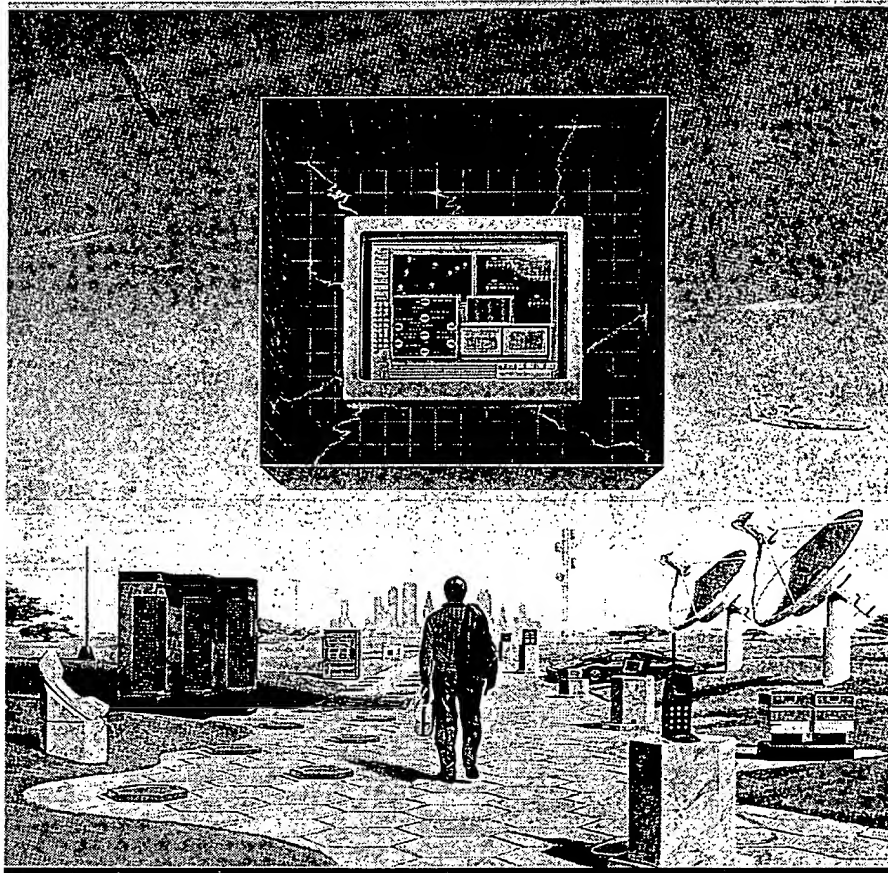
- (1) 三瓶 政一 “陸上移動通信用 16QAM のフェージングひずみ補償方式”、信学論(B-II)、VOL.J72-B-II、No.1、pp.7-15
- (2) 安藤 英浩 佐和橋 衛 “DS-CDMA における複数パイロットブロックを用いる高精度チャネル推定法”、1996 信学技報 RCS96-72



ネットワーク・シミュレーション・ツールの世界標準

— 全米で、日本で、そして世界で認められた操作性とシミュレーション精度 —

- プロトコル開発 / パフォーマンス解析 / キャパシティ・プランニングなど、幅広い適用範囲
- 移動体や衛星通信を含む無線ネットワークのモデリング
- ATMをはじめ、多数のモデルを標準提供
- ネットワーク・トポロジ / ノード構造 / プロセッサロジックをそれぞれ最適な専用エディタで作成
- 抜群の高速性をもつ高精度シミュレーション
- オンライン・デバッグ、アニメーション機能など、豊富なシミュレーション機能
- シミュレーション結果を多様な形式でグラフ表示
- APIの提供やサードベンダライブラリへのアクセス機能など、真のオープン環境を提供



OPNET

THE FOCUSED TECHNOLOGY IN NETWORK SIMULATION

日本総代理店

株式会社 情報工房

〒104 東京都中央区入船2-5-7 セントラル・Kビル3階

☎(03)5566-7511 FAX (03)3555-1122 e-mail johokobo@po.ijnet.or.jp

編集兼発行人
東京都港区芝公園三丁目一
八(機械振興会館内)

印刷所
三英印刷株式会社
東京都荒川区西日暮里五
一八

発行所 社団法人 電子情報通信学会
東京都港区芝公園三丁目五
一八(機械振興会館内)
本論文に掲載された論文の著作権は社団法人電子情報通信学会に帰属します。

1997年電子情報通信学会総合大会講演論文集 通信① 定価 11,800円(本体11,457円・税343円)

Copyright © 1997 By The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers

IEICE 電子情報通信学会 1998年 通信ソサイエティ大会 講演論文集 1

一般講演

- | | |
|--------------------|--------------------|
| B-1. アンテナ・伝播 A, B | B-4. 環境電磁工学 |
| B-2. 宇宙・航行エレクトロニクス | B-5. 無線通信システム A, B |
| B-3. 衛星通信 | |

シンポジウム

- SB-1. アダプティブアンテナの応用とその関連技術
SB-2. リモートセンシングセンサー技術
SB-3. 周回衛星通信システムを支える基本・周辺技術
SB-4. 電磁波と生体

ソサイエティ企画

- | | |
|-----------|-------------------------------|
| パネル討論 | PB-2. 高速ワイヤレスアクセスシステムの行方 |
| チュートリアル講演 | TB-1. 非通信分野におけるアンテナ・伝搬技術と研究課題 |
| | TB-2. 航空機の安全を支える航法およびセンシング技術 |

1998年9月29日～10月2日 山梨大学（甲府市）

September 29～October 2, 1998, YAMANASHI UNIVERSITY, KOFU

COMMUNICATIONS SOCIETY
THE INSTITUTE OF ELECTRONICS, INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERS

社団法人 電子情報通信学会
通信ソサイエティ

(大会終了までは複写を禁止します。大会終了後は目次の最終ページに記載の方法により複写できます。)

W-CDMA 用判定帰還形チャネル推定方式の検討

A Study of Decision Feedback Channel Estimation for W-CDMA

中村 道春

浜田 一

長谷 和男

大石 泰之

浅野 賢彦

NAKAMURA Michiharu

HAMADA Hajime

NAGATANI Kazuo

OHISHI Yasuyuki

ASANO Yoshihiko

(株) 富士通研究所

FUJITSU LABORATORIES LTD.

1 はじめに

近年、Wideband DS-SS-CDMA の研究が盛んに行われている⁽¹⁾。W-CDMA の無線伝送ではパイロットシンボルで伝搬路推定を行い Rake 合成を行っている⁽²⁾。しかしながらパイロットの電力は、データ伝送効率を保つためある一定の値におさえられる。このため伝搬路推定精度に限界があり、ビット誤り率が劣化する。パイロットが時間多重されるシステムについてデータシンボルを判定帰還してパイロットシンボルとみなし伝搬路推定を行うことが検討されている⁽³⁾。パイロットをコード多重するシステムについても同様の改善効果が得られたので報告する。

2 判定帰還形チャネル推定

図 1 に判定帰還形チャネル推定の構成を示す。パイロットによるチャネル推定値 $\hat{\alpha}_p$ で受信信号を Rake 合成しデータを仮判定する。次にこの仮判定したデータをパイロットとみなして再びチャネル推定を行い推定値 $\hat{\alpha}_d$ を得る。これらを重みづけ平均して最終的なチャネル推定値 $\hat{\alpha}$ を得る。

$$\hat{\alpha} = w_1 \hat{\alpha}_p + w_2 \hat{\alpha}_d \quad (1)$$

この $\hat{\alpha}$ でデータチャネルの Rake 合成・判定を行う。

3 シミュレーション結果

表 1 に示す諸元でシミュレーションを行った。図 2 にチャネル推定誤差の S/N 特性を示す。W-CDMA システムが動作する受信 S/N=3 ~ 5dB 付近で $\hat{\alpha}_d$ はおよそ 5dB 良好な特性を示す。重みづけ平均の式 (1) において w_1 を 1 に固定し w_2 を変化させたときの BER = 10^{-3} 所要 E_b/N_0 特性を図 3 に示す。 $w_2 > 1$ で従来方式 ($w_2 = 0$) よりおよそ 0.5dB の改善となった。

4 まとめと課題

データシンボルを仮判定してパイロットとみなす仮判定形チャネル推定を提案し、その効果を計算機シミュレーションで確認した。チャネル推定精度は単純に伝送路のビット誤り率特性を向上させるだけでなくアダプティブアレーや干渉キャンセラを採用する場合その動作特性を改善し、相乗的な効果を持つと考えられる。アダプティブアレーや干渉キャンセラとの組み合わせが今後の課題である。

参考文献

- (1) F. Adachi, et al., "Coherent Multicode DS-SS-CDMA Mobile ...," IEICE Tr. Com., E79-B, 9, pp.1316-1325, 1996.
- (2) A. Higashi, et al., "Performance of coherent detection and RAKE ...," PIMRC'95, pp.436-440, 1995.
- (3) 東他, "DS/SS-CDMA における内挿型同期検波方 RAKE の特性" 信学技報, RCS94-98.

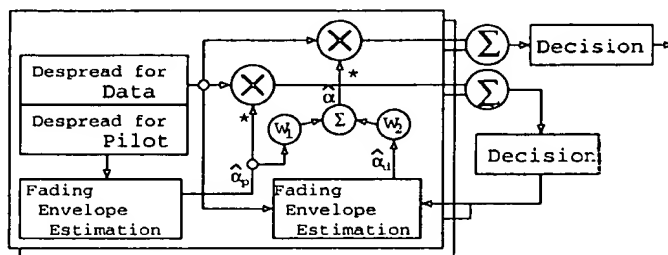


図 1: 判定帰還形チャネル推定の構成

表 1: シミュレーションの諸元

Chip Rate	4.096 Mcps
Data Channel	128 kbps
Pilot Channel	16 kbps
Channel Coding	R=1/3, K=9
Rayleigh Fading	$f_D = 80$ Hz
Channel Model	2 波等レベル

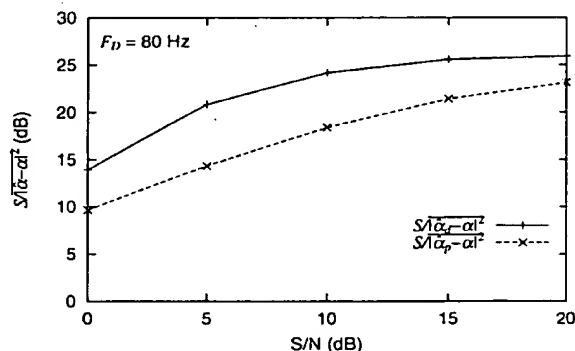
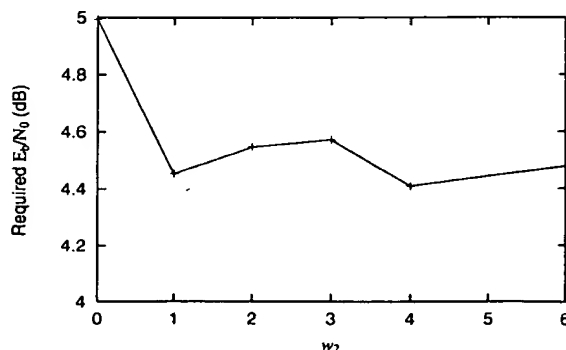


図 2: チャネル推定誤差

図 3: 所要 E_b/N_0

C&C for Human Potential

NEC



じぶん、新しくしたい。

頭のなか、心のなかで生まれたことを、自由に思い通り表現できる。

時間や空間の制約を気にせずに世界中の人々と対話ができる。

好奇心を刺激する情報がどんどん飛び込んでくる…。

デジタルのチカラは、あなたのなかの新しいじぶんが目覚めを促すのを応援します。

さあ、一歩前に踏み出して、真新しいじぶんへ。

ちょっとの勇気とデジタルと。

一九九八年九月七日発行

編集兼発行人
東京都港区芝公園三

野
機械振興会館内

印刷所
東京都荒川区西日暮里五―九一八
三英印刷株式会社

発行所
社団法人 電子情報通信学会
東京都港区芝公園三―五―八(機械振興会館内)
本論文集に掲載された論文の著作権は(社)電子情報通信学会に帰属します。

1998 年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会講演論文集 1

定価8,000円(本体7,620円・税380円)

Copyright © 1998 By The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP00/09313

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl.⁷ H04J3/04

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl.⁷ H04J3/00-3/06Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1926-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2001
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2001 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2001Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
JOIS

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	Sadayuki ABEDA et al., "Kudari Link Broad Band Musen Packet Densou ni okeru SC/DS-CDMA, MC/DS-CDMA, MC-CDMA Houshiki no Tokusei Hikaku", Technical research report RCS99-130, the Institute of Electronics, Information and Communication Engineers, 15 October, 1999 (15.10.99)	6-7, 19-20, 22, 24, 26, 30, 34-35
Y		8-18, 23, 27-29
A		1-5, 21, 25, 31-33, 36
X	Hiroyuki ARATA et al., "Agari Link broad Band Musen Packet Densou ni okeru SC/DS-CDMA, MC/DS-CDMA, MC-CDMA Houshiki no Tokusei Hikaku", Technical research report RCS99-131, the Institute of Electronics, Information and Communication Engineers, 15 October, 1999 (15.10.99)	6-7, 19-20, 22, 24, 26, 30, 34-35
Y		8-18, 23, 27-29
A		1-5, 21, 25, 31-33, 36
X	Tomoaki KUMAGAYA et al., "OFDM Musen LAN System you Channel Touka Tokusei Kaizenhou no Kentou", Proceedings B-5-91 of Communication Society Meeting, the Institute of Electronics, Information and Communication Engineers, 16 August, 1999 (16.08.99)	6-7, 15, 17, 19, 26, 29-30, 34-35
Y		8-14, 16, 18, 20, 22-24, 27-28

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
 "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 "E" earlier document but published on or after the international filing date
 "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
 "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
 "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
 "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
04 April, 2001 (04.04.01)Date of mailing of the international search report
17 April, 2001 (17.04.01)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP00/09313

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A		1-5, 21, 25, 31-33, 36
Y	Akihiro AZUMA et al., "DS/CDMA ni okeru Naisou gata Douki Kenha RAKE no Tokusei", Technical research report RCS94-98, the Institute of Electronics, Information and Communication Engineers, 28 October, 1994 (28.10.94)	6-20, 22-24, 26-30, 34-35
A		1-5, 21, 25, 31-33, 36
Y	Takahito ISHII, "Gaisou Hokan to Hantei Kikan wo mochiita DS-CDMA you Chikuj Channel Suitei hou", Proceedings B-5-27 of General Meeting, the Institute of Electronics, Information and Communication Engineers, 06 March, 1997 (06.03.97)	6-20, 22-24, 26-30, 34-35
A		1-5, 21, 25, 31-33, 36
Y	Michiharu NAKAMURA et al., "W-CDMA you Hantei Kikan gata Channel Suitei Houshiki no Kentou ", Proceedings B-5-60 of Communication Society Meeting, the Institute of Electronics, Information and Communication Engineers, 07 September, 1998 (07.09.98)	6-20, 22-24, 26-30, 34-35
A		1-5, 21, 25, 31-33, 36
Y	JP, 10-233713, A (Kokusai Electric Co., Ltd.), 02 September, 1998 (02.09.98), Full text; all drawings (Family: none)	6-20, 22-24, 26-30, 34-35
A		1-5, 21, 25, 31-33, 36
Y	JP, 9-8770, A (Matsushita Electric Ind. Co., Ltd.), 10 January, 1997 (10.01.97), Full text; all drawings	6-20, 22-24, 26-30, 34-35
A	& US 6175558	1-5, 21, 25, 31-33, 36
Y	JP, 11-68700, A (NEC Corporation), 09 March, 1999 (09.03.99), Full text; all drawings (Family: none)	6-20, 22-24, 26-30, 34-35
A		1-5, 21, 25, 31-33, 36
E,A	JP, 2001-53644, A (Fujitsu Limited), 23 February, 2001 (23.02.01), Full text; all drawings (Family: none)	1-36
E,A	JP, 2000-252867, A (Toshiba Corporation), 14 September, 2000 (14.09.00), Full text; all drawings (Family: none)	1-36

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. cl⁷ H04J3/04

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. cl⁷ H04J3/00-3/06

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926-1996

日本国公開実用新案公報 1971-2001

日本国登録実用新案公報 1994-2001

日本国実用新案登録公報 1996-2001

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

JOIS

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	安部田 貞行他, "下りリンクブロードバンド無線パケット伝送におけるSC/DS-CDMA, MC/DS-CDMA, MC-CDMA方式の特性比較", 電子情報通信学会技術研究報告RCS99-130, 15. 10月. 1999 (15. 10. 99)	6-7, 19-20, 2 2, 24, 26, 30, 3 4-35
Y		8-18, 23, 27-2 9
A		1-5, 21, 25, 31 -33, 36

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

04. 04. 01

国際調査報告の発送日

17.04.01

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

伏本 正典

5K

9372

電話番号 03-3581-1101 内線 3556



C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	新 博行他, "上りリンクブロードバンド無線パケット伝送におけるS C/DS-CDMA, MC/DS-CDMA, MC-CDMA方式の特性比較", 電子情報通信学会 技術研究報告RCS99-131, 15. 10月. 1999 (15. 10. 99)	6-7, 19-20, 2 2, 24, 26, 30, 3 4-35
Y		8-18, 23, 27-2 9
A		1-5, 21, 25, 31 -33, 36
X	熊谷 智明他, "OFDM無線LANシステム用チャネル等化特性改善法の検 討", 電子情報通信学会通信ソサイエティ大会講演論文集B-5-91, 16. 8月. 99 (16. 08. 99)	6-7, 15, 17, 1 9, 26, 29-30, 3 4-35
Y		8-14, 16, 18, 2 0, 22-24, 27-2 8
A		1-5, 21, 25, 31 -33, 36
Y	東 明洋他, "DS/CDMAにおける内装型同期検波RAKEの特性", 電子情報 通信学会技術研究報告RCS94-98, 28. 10月. 1994 (28. 10. 94)	6-20, 22-24, 2 6-30, 34-35
A		1-5, 21, 25, 31 -33, 36
Y	石井 崇人他, "外挿補間と判定帰還を用いたDS-CDMA用逐次チャネル 推定法", 電子情報通信学会総合大会講演論文集B-5-27, 6. 3月. 97 (0 6. 03. 97)	6-20, 22-24, 2 6-30, 34-35
A		1-5, 21, 25, 31 -33, 36
Y	中村 道春他, "W-CDMA用判定帰還型チャネル推定方式の検討", 電子 情報通信学会通信ソサイエティ大会講演論文集B-5-60, 7. 9月. 98 (0 7. 09. 98)	6-20, 22-24, 2 6-30, 34-35
A		1-5, 21, 25, 31 -33, 36
Y	JP, 10-233713, A (国際電気株式会社) 2. 9月. 1998 (02. 09. 98) 全文, 全図 (ファミリーなし)	6-20, 22-24, 2 6-30, 34-35
A		1-5, 21, 25, 31 -33, 36

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP, 9-8770, A(松下電器産業株式会社)10. 1月. 1997(10. 01. 97) 全文, 全図 & US 6175558	6-20, 22-24, 2 6-30, 34-35
A		1-5, 21, 25, 31 -33, 36
Y	JP, 11-68700, A(日本電気株式会社)9. 3月. 1999(09. 03. 99) 全文, 全図 (ファミリーなし)	6-20, 22-24, 2 6-30, 34-35
A		1-5, 21, 25, 31 -33, 36
E, A	JP, 2001-53644, A(富士通株式会社)23. 2月. 2001(23. 02. 01) 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-36
E, A	JP, 2000-252867, A(株式会社東芝)14. 9月. 2000(14. 09. 00) 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-36